

**Technická univerzita v Liberci**

**FAKULTA PŘÍRODOVĚDNĚ – HUMANITNÍ A PEDAGOGICKÁ**

**Katedra: Chemie**

**Studijní program: Učitelství pro 2. stupeň ZŠ**

**Studijní obor (kombinace): angličtina/chemie**

**CHEMICKÉ ROZBORY PVC HYDROIZOLAČNÍCH FOLIÍ  
CHEMICAL ANALYSES OF WATER-PROOFING PVC FOILS**

**Diplomová práce: 10 - FP - KCH**

**Autor:**

Petr Zach

**Podpis**

**Adresa:**

Pod lipou 1658

508 01, Hořice

**Vedoucí diplomové práce:** Ing. Jana Müllerová, Ph.D.

**Konzultant:** Ing. Martin Stuchlík

**Počet**

stran	slov	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
60	11730	35	6	17	0

V Liberci dne 10. 7. 2010

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a internetových zdrojů s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 10.7.2010

Petr Zach

---

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval paní Ing. Janě Müllerové, Ph.D. a panu Ing. Martinovi Stuchlíkovi za odborné vedení, cenné rady, připomínky a nápady, které mi poskytli během přípravy diplomové práce.

Mé poděkování patří také panu Ing. Markovi Novotnému za nabídku k vypracování této diplomové práce, za poskytnutí exemplářů hydroizolačních fólií a za dodání příslušné literatury.

Děkuji.

## **Anotace**

### **CHEMICKÉ ROZBORY PVC HYDROIZOLAČNÍCH FOLIÍ**

Tato diplomová práce se zabývá pokusem o nalezení systému, podle kterého by bylo možné vytvořit databázi hydroizolačních PVC fólií, resp. jejich IR spekter, souřadnic barevnosti, obsahu plniv, atd., podle kterých by bylo možné stanovit původ neznámého vzorku, nebo odhadnout důvody, které vedou k degradaci izolačních vlastností. Podle této databáze by bylo možné i predikovat vlastnosti a chování fólie nové, za předpokladu, že by její složení bylo totožné se složením jiné folie, u které je její chování v horizontu několika let známo. Cílem této diplomové práce je tedy snaha o nalezení cesty k nějaké relativně jednoduché a pokud možno rychlé a ne příliš finančně nákladné metodě, která by mohla tyto fólie analyzovat a odhalit proč došlo k selhání izolačních vlastností, popř. predikovat chování nové fólie na základě informací z databáze.

**Klíčová slova:** databáze, hydroizolační PVC fólie, IR spektrum, souřadnice barevnosti, obsah plniv, degradace, izolační vlastnosti

## **Annotation**

### **CHEMICAL ANALYSES OF WATER-PROOFING PVC FOILS**

This diploma thesis focuses on the experiment to find any system which can build a water-proofing PVC foils database, in other words, the database of their IR spectrums, chromaticity coordinates and filler content which can help to determine background of an unknown sample, or to judge the reasons that lead to degradation of insulation properties. According this database would be possible to predict properties of a new foil on condition that its composition is the same as composition of another foil if its characteristics are known several years. The aim of this diploma thesis is an effort to discover the way to a relatively easy, moreover, fast and not so expensive method which could analyse these types of foils and to detect the question why insulation properties failure happened, or to predicate characteristics of a new foil according information from database.

**Key words:** database, water-prooing PVC foils, IR spectrum, chromaticity coordinates, filler content, degradation, insulation properties

# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2. Teoretická část</b>	<b>11</b>
2.1. Polvinylchlorid	11
2.2. Polypropylen	14
2.3. Polyethylen	16
2.4. Ethylenvinylacetát	21
2.5. Ftaláty	23
<b>3. Metody zpracování</b>	<b>26</b>
3.1. Infračervená spektrometrie	26
3.2. Metoda zeslabené totální reflexe	29
3.3 Měření barevnosti ve stavební praxi	30
<b>4. Experimentální část</b>	<b>32</b>
4.1. Seznam některých výrobců hydroizolačních fólií	34
4.2. Obsahy plniv různých typů hydroizolačních fólií	37
4.3. Porovnání IČ spekter nepoužitých i použitých fólií s knih IČ spekter	39
4.4. Změny ve složení hydroizolačních fólií po zahřívání	43
4.5. Xenotest	46
4.6. Analýza vzorků 45 a 62 firmou Nicolet s.r.o.	48
4.7. Knihovna IČ spekter	58
4.8. Vyjádření barevné odchylky mezi dvěma vzorky	62
<b>5. Závěr a diskuze</b>	<b>64</b>
<b>6. Seznam použité literatury</b>	<b>66</b>

# 1. Úvod

Posledních několik let je ve znamení stavebního rozkvětu. Přestože jsou na trh neustále dodávány nové výrobky i technologie, neznamená to, že by vše, dříve používané bylo zavrženo. K těmto starším, ale stále ve velké míře používaným technologiím, patří použití hydroizolačních folií, jak zemních, tak i střešních převážně z PVC. Použití měkčeného PVC je pro tyto účely stále aktuální, přestože se na trhu objevují i fólie z jiných materiálů (např. PP, PE v různých provedeních). V případě neustále dominujícího měkčeného PVC se vývoj ubírá směrem k zdokonalování vlastností a ke snižování ceny výroby. Toto lze ovlivňovat změnou doplňujících složek, jako jsou změkčovadla, plniva, stabilizátory (UV, tepelné apod.), retardéry hoření a barviva nebo látky odpuzující hlodavce. Proti zlepšování užitkových vlastností ale často pracuje snaha o snížení nákladů na výrobu. Jako některé doplňující látky se používají různé odpady a nejlevnější suroviny, což se velmi často projeví až po nějakém čase zhoršenou funkčností, někdy již při pokládce např. špatnou svařitelností na spojích apod. Ne vždy jsou však zjištěné poruchy na izolaci způsobeny vadami vlastní fólie, poruchy také bývají způsobeny špatným technologickým postupem při pokládce izolace.

Jelikož se v posledních letech na území České republiky stále více stavějí moderní hypermarkety, supermarkety, obchodní domy a architektonicky složité či netradiční stavby, problematika správné technologie hydroizolace a nežádoucích vlivů na ni je poměrně ožehavá, přesto nepříliš probádaná oblast. Za tento fakt může i absence sofistikované literatury, která by se zabývala jak vhodnou technologií hydroizolace tak hlavně literatury, která by objasnila destruktivní faktory spolu s přesnými pochody degradace hydroizolačních folií používaných především na střeších budov.

Fólie jsou velmi záluďný materiál, který lze vnějškově rekognoskovat jen velmi málo. Je to problém kompozice, směsi materiálu, kde je jen velmi těžko možno rozeznat, zda chemické složení PVC je korektní, nebo zda ve směsi něco přebývá. Jedním ze zjištění, která nejsou plně publikována, je množství plniv, které se ve fóliích vyskytuje. Navíc šetření výrobců v některých případech je velmi riskantní, tj. to nejlevnější co je na trhu je vždy nejriskantnější a tudíž nejporuchovější (M. Novotný 2009).

Vzhledem k charakteru počasí dochází ke kolapsům těchto hydroizolací, a proto je velmi aktuální vývoj rychlé a jednoduché metody ke zjištění původu (výrobce a druhu) použité fólie a i v ideálním případě i zjištění, jakým vlivům byla fólie vystavena během pokládky a užívání. Syntetické fólie stárnou stejně tak jako všechny ostatní hydroizolační materiály, toto stárnutí se projevuje ztrátou elasticity, plasticity, resp. ztrátou schopnosti protažení v kombinaci se snížením teploty lámavosti. Toto jsou základní charakteristiky procesu stárnutí.

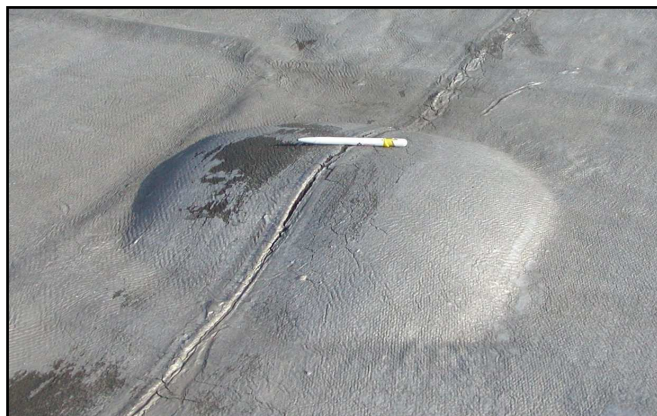
Mezi nejčastější poruchy, které se projevují na střešních pláštích patří bez pochyby poruchy vodotěsnosti. Tyto velmi nežádoucí defekty mohou vznikat v celém procesu navrhování, provádění a využívání střešního pláště a současně mohou vznikat použitím nevhodných nebo nekvalitních izolačních materiálů a prvků. Pokud ovšem chceme předejít těmto závadám, tak bychom se měli vyhnout fóliím, které jsou vyrobeny z rizikových materiálů jako jsou např. akryláty, stříkané polyuretany, hydroizolační materiály neodpovídající klimatickým podmínkám, atd. V žádném případě tyto podmínky nezaručují totální eliminaci poruch, protože existují další faktory, které značně napomáhají vzniku závadám na hydroizolačních fóliích jako např. špatné a nekvalifikované provedení ploch a detailů, nebo porušování hotového hydroizolačního povlaku při následných stavebních pracích viz obr. číslo 1 (M. Novotný 2007).

Obr. č. 1 - Nedbalost při provádění následných stavebních prací



Dalšími druhy poruch hydroizolačních fólií jsou tzv. stavebně fyzikální poruchy, které mohou mít příčiny v etapách navrhování nebo provádění. Konkrétními příčinami jsou nedostatečné množství tepelné izolace a špatně odizolované konstrukční detaily, kondenzace ve vzduchových mezerách či kondenzační poruchy lehkých střešních plášťů se zatepleným pohledem a plechovou krytinou viz obr. č. 2 (M. Novotný 2007).

Obr. č. 2 – Boule na hydroizolačním povlaku – vlhkostní problémy



Poruchy statické se uvádí jako poslední typ závad u hydroizolačních fólií, které převážně v průběhu navrhování, ale i v rámci provádění a užívání vznikají pouze při dramatické změně zatěžovacích podmínek. Např. přetížení střešních plášťů v důsledku rekonstrukcí prováděných systémem neustálého přidávání hydroizolačních vrstev, porušení soudržnosti střešního pláště a ulítnutí částí celého pláště, nebo změny užívání bez ohledu na vstupní údaje (M. Novotný 2007).

Obr. č. 3 – Poruchy v důsledku sání větru





Je jasné, že vývoj metodiky na objasnění příčin poškození fólie není jednoduchý a není ani řešitelný v rámci jedné diplomové práce. Proto je tato diplomová práce zaměřena primárně na shromáždění dostatečného počtu vzorků jak nových nepoužitých fólií, tak i fólií použitých a vytvoření databáze IČ spekter fólií popsaných podle výrobce a typu. Z vlivů, které na fólii působí hlavně během pokládky, byla vybrána zvýšená teplota a bylo sledováno, zda vlivem této expozice dochází k nějakým změnám ve složení, které by mohly mít vliv na další hlavně mechanické vlastnosti. Jako ukazatel změn bylo kromě měření IČ spekter zvoleno měření souřadnic barevnosti a změny v hmotnosti. Dále bylo studováno jaký vliv na výsledné vlastnosti fólie má druh a množství anorganické složky a srovnání přibližného procentuálního zastoupení plniv v získaných vzorcích.

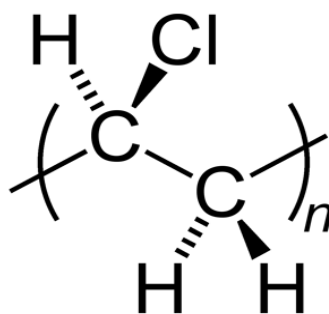
## 2. Teoretická část

### 2.1. Polyvinylchlorid (PVC)

Polyvinylchlorid (PVC) je jedním ze skupiny plastů vyráběných z ethylenu. K jejich výrobě se používají jako suroviny základní látky zvané monomery, které se řetězovitě spojují

při chemické reakci zvané polymerace. Vzniklé makromolekuly s dlouhým řetězcem se nazývají polymery. Vinylchlorid - monomer, ze kterého se vyrábí PVC byl poprvé laboratorně syntetizován Justusem von Liebigem roku 1835. PVC poprvé připravil Baumann v r. 1872. První komerční výroba PVC začala ve 20. letech v USA. V průběhu dalších dvaceti let se začalo PVC v širším měřítku vyrábět i v Evropě. Jednoduchý popis výroby PVC je následující. Roztok kuchyňské soli se rozloží působením elektrického proudu na chlor, vodík a hydroxid sodný. Ropa se v rafinériích štěpí na ethylen. Sloučením ethylenu a chloru vzniká ethylen dichlorid (EDC) z něhož se odštěpením molekuly HCl vyrábí vinylchlorid (VCM) – monomer - základní stavební jednotka PVC. Při procesu polymerace jsou molekuly vinylchloridu spojovány do řetězců molekul PVC. Takto vyrobené PVC je bílý prášek. Čisté PVC se nepoužívá samostatně, ale ve směsi s dalšími látkami - aditivy, které mu dávají celou řadu různých vlastností. Přítomnost chloru v molekulách PVC umožňuje jeho mísitelnost s řadou dalších látek a také přispívá ke snížení jeho hořlavosti. Jeho přítomnost lze využít i při automatickém třídění plastových odpadů pro recyklaci. Směsi PVC lze vhodnou volbou receptury upravit tak, aby bylo dosaženo požadovaných vlastností. Při zpracování PVC směsi na konečné výrobky je možné používat celou řadu jednoduchých technologických postupů. PVC je chemicky stabilní, netoxický a nachází široké uplatnění ve stavebnictví, elektrotechnice, dopravě, lékařství, při výrobě hraček apod. [1]

Obr. č. 4 – Chemická struktura PVC



## **Měkký PVC (Novoplast)**

Měkký PVC je především svými fyzikálně - chemickými vlastnostmi značně odlišný od tvrdého typu. Změkčovadla způsobí uvolnění mezimolekulárních sil mezi řetězci PVC. Podle množství změkčovadel lze docílit hmot s různou elasticitou od tuhých látek až po kaučukové hmoty. U změkčovadel je důležitá snášlivost s PVC; nemají stejnou solvatační schopnost. Změkčovadla ovlivňují významně také tepelné vlastnosti, především hodnoty rázové a vrubové houževnatosti při nízkých teplotách. Proto se při sestavování receptur směsí měkčeného PVC využívá kombinace změkčovadel a jejich poměr se dosud určuje empiricky, protože zákonitosti jsou značně složité. Místo plastifikace probíhá dosti dokonalá solvatace molekul PVC. Na této operaci hodně záleží, neboť vzniklá struktura ovlivňuje výsledné vlastnosti směsí. [1]

## **Vlastnosti měkkého PVC**

Mechanické vlastnosti tohoto typu PVC jsou podle složení směsí tak rozdílné, že lze uvést jen zcela základní údaje a pro praktickou potřebu je třeba se řídit údaji výrobce pro daný druh materiálu. Tak např. pevnost v tahu podle obsahu změkčovadla může klesnout i několikanásobně.

Chemické vlastnosti jsou rovněž značně ovlivněny obsahem i druhem změkčovadel. To se projevuje již v absorpci vody. Fólie vystavené vodě nejprve zbělají a po delší době se z nich postupně vyluhuje změkčovadlo, takže tvrdnou a výrazně mění své vlastnosti vývojem blížícím se k hodnotám pro tvrdý typ PVC. Měkký PVC je odolný vůči kyselinám, zásadám a solím jako tvrdý PVC, avšak následkem vyluhování i případného rozkladu změkčovadel se mění jeho vlastnosti podobně jako při působení vody. S rostoucí teplotou se změny urychlují. [1]

## **Výroba měkkého PVC**

PVC se připravuje dvěma způsoby: buď se získá smísením složek v hnětači nebo dvouválci a zahřátím na tzv. želatinační teplotu, nebo se připraví pasta z práškovitého PVC a potřebným množstvím změkčovadla a ostatními přísadami a ta se dále podrobí želatinaci. V prvním případě se směs želatinuje při teplotě asi 170 °C. Při tom dochází k dosti dokonalé solvataci makromolekul PVC molekulami změkčovadla. Proces je nevratný. Získá se viskoelastická hmota, kterou lze zpracovat nejlépe tažením na víceválcovém stroji na fólie, ale také ji lze zpracovat vytlačováním i vstřikováním.

V druhém případě se pasta zpracuje ještě v tekutém stavu. Po nalití na formy či nanesení na vhodnou podložku (textil) se zahřátím provede želatinace. Konečný výrobek má podobné vlastnosti jako při prvním postupu. Polymer vhodný pro přípravu pasty musí mít dostatečně malé částice pokud možno kulovitěho tvaru. Tvar i velikost částic udávají tokové vlastnosti pasty. Částice nepravidelného tvaru způsobují větší absorpci změkčovadel a pasta je viskóznější. Hrubozrnné typy PVC prášku již pastu nevytvářejí. V každém případě je však třeba určitého minimálního obsahu změkčovadla. Proto nelze z pasty vytvořit tvrdší typy PVC. Také volbě změkčovadel je třeba věnovat při přípravě past pozornost. Často se kombinují tzv. změkčovadla s velkou solvatační účinností se sekundárními změkčovadly, jejich solvatační účinek je malý; tím lze vhodně upravit viskozitu pasty. Získané výrobky lze po případné další úpravě použít přímo jako prodejné zboží nebo použít jako polotovar pro další výrobu, nejčastěji ke konfekčnímu zpracování. K němu lze použít vysokofrekvenčního nebo indukčního svařování, lepení i šití, zvláště pro PVC s textilní podložkou. Technologie zpracování past je mnohostranná a u každého výrobku dosti specifická, což se již vymyká z rámce popisu materiálu. [1]

### **Použití měkkého PVC**

Použití tohoto typu je značně rozmanité. Jsou to především fólie, které slouží buď přímo (obalový a ochranný materiál) nebo ke konfekčním účelům pro výrobu hraček, nafukovacích předmětů apod. Ve stavebnictví se měkčený PVC používá na výrobu pruhových závěsů, které slouží jako protiprůvanové clony, snižující tepelné ztráty v zimě, omezující úniky chladu z mrazicích boxů, zamezující vnikání prachu do objektů, mohou snížit hladinu hlučnosti, druhotně mohou sloužit jako další zdroj denního osvětlení. [1]

### **Pomocné suroviny pro zpracování PVC**

Změkčovadla jsou nejdůležitější přísadou PVC. Podle jejich účinku je rozdělujeme na primární, s největším solvatačním účinkem, sekundární s malým účinkem a nastavovadla (tzv. extendry.) Tato diplomová práce se ovšem bude zabývat pouze primárními změkčovadly, které se převážně objevují v hydroizolačních PVC fóliích. Na všechny tyto látky jsou kladeny různé nároky jako například malá tenze par, stálost za tepla, stálost na světle, vhodné elektroizolační vlastnosti, aj. Nejčastější

primární změkčovadla PVC jsou na bázi kys. ftalové, např. DEHP bis(2-ethylhexyl) ftalát. Ftaláty bývají používány pro měkčení právě hydroizolačních PVC folií, podlahových krytin („lino“), zdravotnického materiálu (hadiček, infuzních vaků, dýchacích masek ad.), či dětských hraček, přičemž se z těchto výrobků mohou postupně uvolňovat a kontaminovat těla lidí a zvířat. Ftaláty se řadí mezi látky, které narušují endokrinní soustavu, některé z nich jsou podezřelé ze způsobování rakoviny. Dalšími častými přísadami PVC jsou těžké kovy (např. kadmium, olovo) či organické sloučeniny cínu. Tyto přísady se používají z důvodu eliminace ničení PVC výrobků hlodavci. [1]

## 2.2. Polypropylen (PP)

Polypropylen je termoplastický polymer ze skupiny polyolefinů, které patří mezi nejběžnější plasty, používají se v mnoha odvětvích potravinářského a textilního průmyslu a v laboratorních vybaveních. Prodává se pod obchodním názvem *Triplen*, *Tatren*, *Mosten* atd. [13]

### Výroba polypropylénu

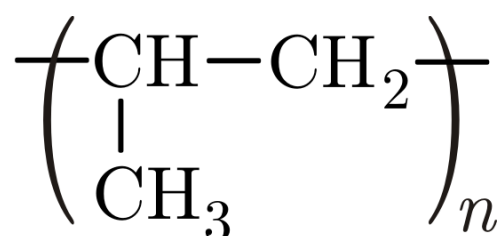
Monomer je propen  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$ , který je jednou z nejdostupnějších petrochemických surovin. Ke zpracování je možno použít odpadové plyny z rafinérií ropy, vyšší alkány ze zemního plynu a kapalné uhlovodíky. Odpadní plyny z rafinérie ropy obsahují přibližně 9 % propenu. Pyrolýza uhlovodíku ze zemního plynu nebo benzínů probíhá při teplotách okolo 700 °C a provádí se v rourových pecích (přímý ohřev) nebo pomocí různých nosičů tepla, např. vodní páry. Složení plynu po pyrolýze závisí na reakčních podmínkách a výtěžek propenu je 15 %. Zbytek jsou užitkovatelné plyny. Surový plyn (např. plyn z pyrolýzy) se odděluje a čistí za zvýšeného tlaku. Před dělením se jednotlivé složky nejprve v alkalických pračkách zbaví kyselých podílů, pak se zbaví acetyleny parciální hydrogenací nebo vypráním v dimethylformaldehydu a nakonec se suší průchodem přes různé tuhé materiály (molekulární síta, silikagel). Dělení na frakce o stejném počtu uhlíku C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> (propan + propen) atd. se provádí buď rektifikační destilací, nebo absorpčními postupy. Olefiny se od parafinů dělí extrakční destilací. Při tomto postupu se v destilační koloně promývá směs par vhodnou látkou,

která zadržuje olefiny v koloně, a parafiny odcházejí z hlavy kolony. Čistota propenu je jednou z rozhodujících podmínek úspěšné přípravy polypropylénu, proto jsou na ni kladeny poměrně vysoké nároky. [1]

Postup výroby polypropylénu se u různých firem poněkud liší, a proto je možno uvést jen hrubé schéma. V podstatě jde o několik tlakových nádob, opatřených vytápěním a míchadlem. V první nádobě se připravuje katalytický roztok. Další nádoba slouží jako polymerizátor, pak následuje odplyňovací nádoba, dále odstředivky, nádoba na odstraňování zbytků katalyzátoru, sušení, granulace a balení produktu. Celé zařízení doplňují potřebné kolony na regeneraci vypíracích rozpouštědel a samozřejmě potřebné kompresy a čerpadla. [1]

Vlastní polymerace probíhá obvykle při 80 °C a tlaku do 3 MPa. Do n-heptanu, ve kterém je rozptýlen katalyzátor (komplex  $\text{TiCl}_3 + \text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ ) se přivádí propen, který ihned polymeruje na polypropylén. Vznikající reakční teplo se odvádí pláštěm. Z důvodů ekonomie a jednotnosti produktu se obvykle při poklesu polymerační rychlosti část produktu z polymerizátoru odvede a doplní znovu čerstvými látkami. Polymerizačních nádob je celá baterie a doby vypouštění jsou tak posunuté, že proces je prakticky kontinuální. Vypuštěný produkt se vede do odplyňovacího kotle a dále se suspenze vede do odstředivek. V matečném louhu zůstává převážná část alkalických podílů. Potom následuje vypírání methanolem za účelem rozložení zbytků katalyzátoru, vypírání nebo vyvážení ve vodě, sušení a granulace na dvojšnekových vlačovacích strojích s vakuovou zónou. Dopravuje se zpravidla v papírových pytlích vyložených polyethylenovou fólií, obsahujících 25 kg granulátu. [1]

Obr. č. 5 – Chemická struktura PP



## **Vlastnosti polypropylenu**

Křehne při nízkých teplotách, kolem 140 - 150 °C měkne, kolem 160 - 170 °C se taví. Je odolný vůči olejům, organickým rozpouštědlům a alkoholům, dobře se rozpouští v xylenech či tetrahydronaftalenu. Polypropylen vyniká velmi dobrou chemickou a mechanickou odolností. [2]

PP je vzhledem k ostatním polymerním materiálům látka málo stálá na povětrnosti. Zvláště rychle se oxidačně odbourává při působení slunečního (UV) světla. Během oxidace klesá molekulová hmotnost polymeru, a tím se zhoršují také důležité mechanické vlastnosti, např. klesá tažnost, snižuje se mez kluzu, pronikavě klesá rázová houževnatost a výrobek se zbarvuje dohněda. Polymer je možno chránit přísadou UV stabilizátorů (benzofenon) nebo pigmentů a barviv např. ZnO, TiO<sub>2</sub>, a nejlépe sazí, které předčí všechny stabilizátory. Přesto, že je známá řada úspěšných stabilizátorů, není možno považovat stabilizaci hlavně světelných tenkostěnných výrobků z PP za dostatečně vyřešenou. [1]

## **Použití polypropylenu**

PP se ve velkém měřítku používá na výrobu vláken, které mají mnoho předností jako velká pevnost, vysoký koeficient tření, odolnost proti plísním a hmyzu, nenavlhají, jsou lehčí než voda, mají dobrou mrazuvzdornost. Rozvinula se i výroba motouzů, která vytěsňuje konopné motouzy ze všech odvětví. Významnými výrobky jsou také desky, trubky a fólie. Fólie se vyrábějí vesměs vytlačováním spojeným s vyfukováním. Jsou transparentní a jsou velmi vhodným obalovým materiálem. [1]

## **2.3. Polyethylen (PE)**

Polyethylen (PE) je termoplast, který vzniká polymerací ethenu. Lze využít polymerace za nízkého tlaku (vznikne polymer s lineárním řetězcem, značka lPE – liten) nebo za vysokého tlaku (vznikne polymer s rozvětveným řetězcem, značka rPE – bralen). Při výrobě lze využít vstřikování a vytlačování. Vylepšením technologie se polyethylen stal snad nejrozšířenějším plastem po PVC (polyvinylchlorid). [1]

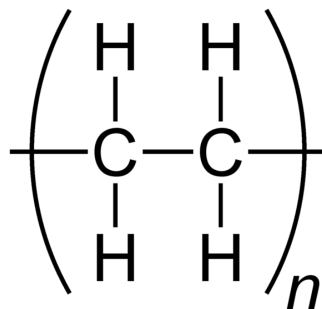
## Výroba polyethylenu (PE)

Samotný ethylen ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) se získává z ethenu ( $\text{CH}_3=\text{CH}_3$ ), ropy, zemního plynu a odpadu ze zpracování uhlí. Ethylen je bezbarvý nasládlý plyn s mírným narkotickým účinkem. Je dosti reaktivní a jeho bod varu je kolem  $-100\text{ }^\circ\text{C}$ . Polymerace ethylenu vyžaduje buď mimořádné podmínky, nebo účinné katalyzátory. Polymerace ethylenu za vysokého tlaku byla zavedena nejdříve, a přesto se stále používá. Při této polymeraci se pracuje s vysokými tlaky  $50 - 300\text{ MPa}$ , při teplotě kolem  $300\text{ }^\circ\text{C}$ . Při této reakci se uvolňuje velké množství tepla, a kdyby nebyl reaktor účinně chlazen, došlo by k explozi. Jako katalyzátor se zde užívá chlorid hlinitý ( $\text{AlCl}_3$ ). Nejběžnější je polymerace v plynné fázi. Trubky užívané jako reaktor jsou silně chlazeny a přivádí se do nich stlačený ethylen s malým množstvím kyslíku jako iniciátoru (iniciuje, nastartuje reakci). Většina ethylenu polymeruje relativně rychle, ale reakce se nechává běžet i několik hodin. Konečný produkt polymerace má olejovitý charakter. Zpracovaný produkt se buď do forem vstřikuje, nebo se do nich vytlačuje. Polyetylen se dá snadno upravovat například ozářením (kdy dochází k síťování), chlorováním (plast změkne, zohební), chlórsulfováním (polyetylen se chloruje v přítomnosti oxidu siřičitého). Takto upravený produkt je lepivý, podobný kaučuku. Ten se může dále upravovat a dokonce vulkanizovat vodou. Vyrábějí se z něho materiály odolné kyselinám a žáru atd. Každá z těchto úprav mění zásadním způsobem vlastnosti polyethylenu. [1]

## Chemické složení a struktura polyethylenu (PE)

Po chemické stránce se PE podobá parafínu. Hlavní složkou je řetězec složený z  $\text{CH}_2$  skupin, mohou však být přítomny také skupiny  $\text{CH}_3$ , nenasycené vazby i kyslík. Počet dvojných vazeb bývá  $0,3 - 1$  na jednu makromolekulu. Nenasycené vazby mohou být typu  $\text{R}-\text{CH}=\text{CH}_2$ ,  $\text{R}_1-\text{CH}=\text{CH}-\text{R}_2$  nebo  $\text{R}_1\text{R}_2\text{C}=\text{CH}_2$ . [1]

Obr. č. 6 - Chemická struktura PE





### **Vlastnosti polyethylenu (vysokotlakého, rozvětveného)**

Při pokojové teplotě může polyethylen bobtnat v alifatických, aromatických a chlorovaných uhlovodících, což ovlivňuje jeho fyzikální vlastnosti. Po odpaření rozpouštědel se původní vlastnosti polymeru v podstatě vrací. Těžko odpařitelné látky vyvolávají změny trvalé (oleje, vazelíny, tuky). Jejich vliv se projeví zvláště tehdy, jsou-li dílce PE pod napětím. V takovém případě praskají často samy, a my hovoříme o korozi pod napětím. U PE ovlivňují korozi pod napětím alkoholy, uhlovodíky, organické estery, kovová mýdla, sulfonované alkoholy, polyglykolestery, kapalně silikony. Bez vlivu jsou voda, bílkoviny, cukry, kalafuna, některé saponáty a kyselé a neutrální anorganické soli. Na korozi jsou citlivější polymery s menší molekulovou hmotností. Vhodnými příměsemi například polyizobutenem lze korozi pod napětím zlepšit. Na rozpustnost má vliv molekulová hmotnost a teplota, obsah krystalického podílu a jiné faktory. Rozpustnost PE v různých rozpouštědlech lze hodnotit podle zákalu 1%ního roztoku při dané teplotě, tj. meze rozpustnosti nejdelších molekul při daných podmínkách. PE je odolný vůči kyselinám i zásadám, použitelný do teploty kolem 80 °C.

Propustnost pro plyny a páry se vysvětluje kombinací rozpouštědel a difúze. S průchodem póry a trhlinami se u PE nemusí počítat, neboť bez větších obtíží lze připravit homogenní vrstvy. PE propouští nepolární organické látky lépe než polární vlivem své nepolární povahy. Např. voda jako polární látka proniká vrstvou PE podstatně méně než např. benzín. Kombinace velké propustnosti CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> a malé propustnosti H<sub>2</sub>O činí PE vhodným pro balení výrobků, které potřebují dýchat, aniž by vysychaly.

Tepelná oxidace se objevuje při zpracování polymeru za zvýšených teplot a přístupu vzduchu (válcování, svařování). Například válcováním na dvouválci při 160 °C stoupl za 6 hodin obsah vázaného kyslíku na 0,6 % a současně se zvýšila teplota tání na 150 °C, čímž se podstatně zhoršilo zpracování.

Fotochemická oxidace nastává u výrobků, které jsou vystaveny slunečnímu záření. Jeho účinek je podobný jako působení zvýšené teploty. Kyslík se při oxidaci váže za vzniku aldehydických a ketonických skupin v řetězcích. Tím se zvýší křehkost a zhorší elektroizolační vlastnosti. Pro potlačení oxidace se přidávají antioxidační přísady, ke snížení vlivu světla saze. V tropických podmínkách probíhá

stárnutí PE mnohem rychleji než u nás. Stárnutí mohou ovlivnit také některé plísňe, protože PE nemá fungistatické účinky (účinky potlačující výskyt plísní).

Slibná je perspektiva rozvoje chemického zesíťování polyethylenu. Rozvětvený PE lze s přídavkem dikumylperoxidu při 130 °C (u lineárního PE speciálním typem peroxidu při teplotě 160 °C) vytlačovat a následným zahřátím za zvýšené teploty pak chemicky zesíťovat.

Výrobky z chemicky zesíťovaného PE (např. trubky, desky, kabelové izolace, fólie, lehčené produkty) mají oproti běžným typům PE vyšší tepelnou odolnost, lepší mechanické a elektroizolační vlastnosti. [1]

### **Chlorovaný polyethylen (PE)**

Náhradou vodíkových atomů v PE halogeny dostáváme nové látky se značně změněnými vlastnostmi, protože vzniká nový polymer s odlišnou strukturou. Prakticky nejvýznamnější je chlorace PE, protože cena chloru je značně nízká. Lze ji provádět několika způsoby, a to v roztoku, např. chloridu uhličitého nebo kyseliny octové. Za běžných podmínek, známých z organické preparace, je možno na polymer navázat až 50 % chloru. Po zrušení pravidelné struktury PE přítomností objemných atomů chloru se projeví v dalekosáhlém snížení krystalického podílu se všemi důsledky z toho plynoucími. Podle obsahu navázaného chloru lze připravit hmoty podobné polyvinylchloridu nebo dokonce až kaučukovitým látkám (45%). Hodnoty těchto produktů nelze udat, protože se pohybují ve velmi širokých mezích a při použití je nutno se řídit údaji výrobce. [1]

### **Chlorsulfonovaný polyethylen (PE)**

Vyrábí se chlorací PE v přítomnosti oxidu siřičitého, takže obsahuje vedle chloru také navázané skupiny – SO<sub>2</sub>Cl. Jsou to kaučukovité polymery, které lze vulkanizovat. Jsou značně odolné proti degradaci ozónem, kyslíkem a jinými činidly. [1]

### **Přísady k polyethylen (PE)**

Běžně vyrobený PE se před zpracováním musí vhodně upravit, a to stabilizovat proti účinkům teploty, světla, kyslíku, případně barvit, plnit event. měkčít a posléze granulovat. [1]

### **Tepelné stabilizátory polyethylenu (PE)**

Vhodný stabilizátor nesmí být prchavý, vyluhovatelný vodou, jedovatý ani odporně páchnoucí a musí chránit polymer za zpracovatelných teplot. Ukázalo se, že tyto požadavky dosti splňují některé antioxidanty fenolického typu, jako např. di-terc-butyl-p-kresol. Tyto stabilizátory se zamíchají do PE před granulací. [1]

### **Světelné stabilizátory polyethylenu (PE)**

Mohou to být některé pigmenty a látky absorbující ultrafialové paprsky. Je známo několik druhů světelných stabilizátorů, které jsou doporučovány různými výrobci, nejlepší ochranou jsou však saze, které absorbují všechno záření. Přidává se jich okolo 2 %. U barevných výrobků je však nutno použít jiných látek, mají-li být vystaveny světlu. Vhodně stabilizované výrobky mohou mít v tropických klimatech životnost 3 – 6 let, u nás se prodlužuje asi na dvojnásobek. [1]

### **Barvení polyethylenu (PE)**

Přírodní zabarvení PE není zvlášť líbivé a pro spotřební účely je většinou nutné jej zabarvovat. To lze provádět barvivy, pokud žádáme transparentní výrobky nebo pigmenty. Používá se anorganických i organických barviv a pigmentů běžného výběru. Podmínkou však je, aby barviva nevystupovala na povrch výrobků (migrace), vydržela podmínky zpracování a byla na světle dostatečně stálá při používání. [1]

### **Plniva a ostatní příměsi polyethylenu (PE)**

Přídavkem plniv k PE se zpravidla sleduje zvětšení váhy a zlevnění výrobku. Speciální přísady se k PE přidávají pro docílení zvláštních vlastností, např. odstranění statické elektřiny nebo zmenšení hořlavosti. Některá plniva se s PE v tavenině mísí a dávají s ním čiré směsi, jiné – nemísitelné, poskytují taveniny zakalené.

Do první skupiny patří: polyizobutén (nižší polymery), některé butadienstyrenové kopolymery, polychloroprén, PVC (omezeně), kys. olejová, polysulfidové kaučuky, parafin, chlorovaný parafin, mikrokrystalické vosky, včelí a karnaubský vosk.

Do druhé skupiny patří např.: chlorkaučuk, metylcelulóza, etylcelulóza, fenolové pryskyřice, polystyrén, polyvinylbutyral, kalafuna, šelak. Jistý význam má přídavek 0,2 – 5 % esterů mastných kyselin. Takové směsi PE se mohou dobře válcovat na fólie

a nelepí se na válce. Polyethylen není příliš vhodným polymerem, který snáší plnění bez podstatného zhoršení mechanických vlastností. Jako plniv se používá uhličitanu vápenatého, kaolínu, síranu barnatého, chloridu hořečnatého, křemenné moučky apod. Plniva musí být velmi dobře homogenizována, pak není při zpracování potíží. Ke zmenšení hořlavosti se k PE přidává nejvíce oxid antimonitý nebo chlorované parafiny [1].

### **Zpracování polyethylenu (PE)**

Polyethylen je možné zpracovávat téměř všemi běžnými plastikářskými technologiemi jako je např.:

a) **míchání na dvouválci**, které lze provádět na normálních typech dvouválců, přední válec je vytápěn na vyšší teplotu (např. 130 °C) než zadní (90 °C). Vlivem rozdílné teploty se docílí opásání pouze předního válce. Takovým způsobem lze do PE zamíchat žádané směsi.

b) **míchání v hnětáku**, které je u vysokotlakého PE nejvýhodnější při teplotě 100 – 120 °C. Při zamíchání se doporučuje použít předsměsí. Míchat lze též na vytlačovacím stroji šnekovém, má však menší výkony.

c) **granulování**, které se provádí buď rozsekáváním pásu odtahovaného z dvouválce nebo pomocí vytlačovacího stroje (válečkový granulát).[1]

### **Použití polyethylenu (PE)**

Polyethylen se používá převážně jako obalový materiál, k výrobě obalové fólie a sáčků, v kabelářském průmyslu především na opláštění vysokokmitočtových symetrickým dálkových sdělovacích kabelů, městských telefonních kabelů a silikonových kabelů. V chemickém průmyslu se používá na obklady nádrží, potrubí, apod. Ve stavebnictví je PE používán jako izolační fólie. [1]

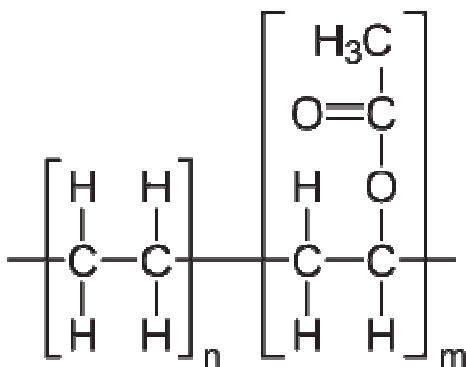
## **2.4. Ethylenvinylacetát (EVA)**

Ethylenvinylacetát je kopolymer nepolárního ethylenu ( $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$ ) a polárního vinilacetátu ( $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{O}-\text{COCH}_3$ ). Je to polymer, který se podobá v jemnosti a flexibilitě elastomerickým materiálům, přesto může být zpracován jako jiné termoplasty. [3, 4, 5, 6]

## Výroba ethylenvinylacetátu

Kopolymery ethylenu s vinylacetátem se vyrábí vysokotlakou radikálovou blokovou polymerací při tlaku 140 MPa a teplotě 180 – 250 °C. Postup při polymeraci je podobný jako při výrobě LDPE. Kopolymery vinylacetátu 40 – 70 % se připravují radikálovou roztočovou polymerací v rozpouštědle (terc. butylalkohol) za tlaku 20 – 40 MPa a teplotě asi 80 °C. Takto připravený kopolymer má dlouhé rozvětvení a lze jej síťovat peroxidy za přítomnosti triallylkyanurátu nebo triallylfosfátu. EVA je prodáván pod obchodním označením Alathon, Elvax či Escorene. [3, 5, 6]

Obr. č. 7 – Chemická struktura EVA



## Vlastnosti ethylenvinylacetátu (EVA)

Tento materiál má dobrou průzračnost a lesk, ochranné vlastnosti, pevnost při nízkých teplotách, odolnost proti UV záření. Se stoupajícím obsahem vinilacetátu stoupá jeho průtažnost, houževnatost a odolnost proti tvorbě trhlin. EVA nemá prakticky žádný zápach a je považován za konkurenční látku gumy nebo vinylových produktů v mnoha elektrických aplikacích. [6, 7]

## Použití ethylenvinylacetátu (EVA)

EVA se používá na výrobu termoplastických lepidel obvykle spolu s přísadami jako jsou vosk a pryskyřice. EVA je též přísada do plastických obalů, nachází uplatnění také v biomedikálních inženýrských aplikacích jako jsou například injekční stříkačky. Ethylenvinylacetát je jeden z materiálů běžně známý jako molitan. Ten se používá jako vycpávky do vybavení pro různé sporty, např. lyžařské boty, hokejová a boxerská výstroj, obuv pro vodní lyžování nebo rybářské pruty (rukověť). Hojně se používá pro

výrobu vlečných, vakových a svislých rybářských sítí. Typické použití ethylenvinylacetátu je především ve sportovní obuvi, kde slouží jako tlumič nárazů. V posledních letech se využívá jako obalový materiál ve výrobě solárních panelů. EVA pantofle a sandály jsou nyní velmi populární kvůli jejich lehkosti, jednoduchosti tvarování, absenci zápachu, lesklé a hladké povrchové úpravě a kvůli levnější ceně ve srovnání s přírodní gumou. EVA může nahradit korek v mnoha aplikacích. Ovšem největší popularitu si EVA získal ve výrobě fotbalového míče značky Adidas Jabulani, používané pro mistrovství světa ve fotbale, dále se EVA využívá ve výrobě ortopedických pomůcek. [14]

## **2.5. Ftaláty - změkčovadla používaná pro hydroizolační fólie**

Ftaláty neboli estery kyseliny ftalové se staly nedílnou součástí moderní civilizace, doprovázejí člověka takřka na každém kroku. Díky svým vlastnostem nacházejí široké uplatnění v celé řadě odvětví. V průmyslové výrobě se nejčastěji používají jako změkčovadla plastů. V této oblasti nahradily dříve užívané polychlorované bifenylly, u kterých byla prokázána vyšší toxicita [1].

### **Chemická struktura ftalátů**

Základ chemické struktury ftalátů tvoří kyselina ftalová se sumárním vzorcem  $C_6H_4(COOH)_2$ . Ftaláty vznikají esterifikační reakcí mezi anhydridem kyseliny ftalové a alkoholy, které jsou vázány esterovou vazbou na dvě karboxylové skupiny kyseliny. Ftaláty jsou tedy 1,2-benzendikarboxylové kyseliny s postranním řetězcem esterů, který zahrnuje uhlíkatý řetězec o délce C1 až C13. Tyto diestery kyseliny ftalové lze členit do třech skupin. Pro hydroizolační fólie připadá v úvahu druhá skupina viz text níže. [1]

### **Ftaláty se střední molekulovou hmotností**

Tato kategorie zahrnuje ftaláty obsahující více než 10% čtyř až šestiuhlíkatých molekul, tuto podmínku splňuje dihexyl-, diheptyl-, diisoheptyl-, diisooctyl-, heptylnonyl- a heptylundecylftalát. Tuto skupinu lze různě využít, od solventů (společně s dibutylftalátem) až k měkčidlům PVC (společně s diethyldihexylftalátem). Fyzikálně-chemické vlastnosti jsou na pomezí mezi zbývajících kategoriemi. Co ale

výrazně odlišuje tuto kategorii od ostatních, je její vysoká toxicita pro savce a částečně i vliv na reprodukci a vývoj. [1]

### **Fyzikálně-chemické vlastnosti ftalátů**

Znalost fyzikálních a fyzikálně - chemických vlastností ftalátů je nezbytná pro pochopení jejich chování a osudu v životním prostředí. Běžné, komerčně vyráběné ftaláty jsou olejovité kapaliny nažloutlé barvy. Většina z nich má bod tání nižší než – 25 °C. Bod varu ftalátů se pohybuje mezi 230 až 486 °C. Nízký bod tání a vysoký bod varu jsou výhodné pro plastifikátory hmoty a speciální nosiče používané za vysokého tepla. [1]

### **Použití ftalátů**

Estery kyseliny ftalové mají velmi široké použití. Ve výrobních procesech se lze setkat

s estery ortoftalických až tereftalických kyselin s řetězcí alkoholů o délce C1 až C17. K nejčastěji užívaným však patří ftaláty s řetězcí C4 až C13. Ročně je v Evropě vyprodukováno 5 až 10 miliónů tun ftaláty, a to zejména pro užití v průmyslu plastů. [1]

### **Ftaláty a jejich průmyslové využití**

Ftaláty jsou vyjímečné svými vlastnostmi a umožňují prodloužení materiálu o 200 až 450 % a rigidní výrobky z nich syntetizované vydrží zatížení 10 až 25 MPa. V civilizované společnosti nacházejí uplatnění téměř ve všech odvětvích, např.:

Modifikátory na zvýšení tuhosti PVC:

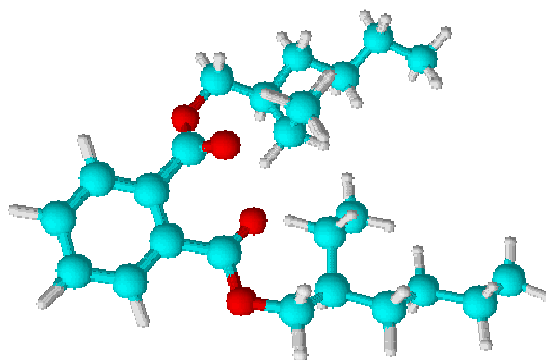
- Stavebnictví: podlahy, dlažby, střechy, panely, koberce, kabely, linolea
- Automobilový průmysl: sedadla, potahy, vinylové vnitřní vybavení, baterie
- Oblečení: pláštěnky, umělá kůže, boty, nepromokavé látky, rukavice
- Adheziva, antistatika, barviva, stabilizátory
- Součástky do počítačů, notebooků a dalších přístrojů
- Přípravky na potlačení hoření
- Potravinářský průmysl: pásové dopravníky, obaly potravin, filtry vzduchu
- Hračkářský průmysl
- Medicínské pomůcky
- Speciální lékařské a zubní výrobky z PVC (tuby, kryty, kontejnery)

- Krevní produkty ( krevní taška, intravenózní trubička, infuze)
  - Speciální pomůcky na krmení pacientů ( nasogastrické sondy, sondy pro novorozence)
  - Vybavení na podporu dýchání ( respirátory, masky, trubice endotracheální,
  - Tracheostomické, nosní kanyly, ventilátory, resuscitátory)
  - Vybavení pro okysličování a hemodialýzu orgánů
  - Katetry ( žilní, osteotomické )
  - Vnitřní vybavení nemocnic ( stěny, podlahy, přístroje, matrace)
  - Kontaktní pomůcky ( rukavice, identifikační náramky, ortodontická rovnátka)
- [1]

### **Zástupce ftalátů - Bis(2-ethyl hexyl) ftalát (DEHP)**

DEHP je lipofilní ester kyseliny ftalové, který se přidává do plastů (hlavně polyvinylchloridu, vinylchloridových pryskyřic a gumy) jako změkčovaadlo. U některých plastů může obsah DEHP tvořit více než jednu třetinu hmotnosti. DEHP je přítomen v produktech jako jsou obklady stěn, ubrusy, podlahové dlaždice, čalounění nábytku a automobilů, sprchové zástěny, zahradní hadice, nepromokavé oděvy, dětské pleny, obalové materiály, nátěrové hmoty, imitace kůže, hračky, boty, ochranná vrstva drátů a kabelů a plastové materiály v lékařství (sáčky na skladování krve). Může se také vyskytovat v pesticidech, inkoustech, fotografických filmech, tekutých mýdlech a detergentech, kosmetice, lacích, čistém lihu, lepidlech, v činidlech pro snižování pěnivosti, mazacích olejích a olejích pro podtlaková čerpadla a střelivu. [1]

Obr. č. 8 – Chemická struktura DEHP vytvořená v programu ACD/Chemsketch pro 3D vizualizaci molekul





## 3. Metody zpracování

### 3.1. Infračervená spektrometrie

Infračervená spektrometrie (IR, IČ, “infrared”) je metoda založená na interakci elektromagnetického záření o vlnové délce řádově 1mm – 1  $\mu$ m (infračerveného záření) s měřeným vzorkem. Při dopadu tohoto záření na molekuly vzorku dochází ke změnám rotačního a vibračního stavu molekul (obr. 6.8). Protože přechody mezi jednotlivými rotačními a vibračními stavy jsou kvantovány (dochází k nim nespojitě, podobně jako k energetickým přeskokům elektronů v obalech atomů), projeví se to různou měrou absorpce infračerveného záření při jednotlivých vlnových délkách záření. [8, 9]

Výsledkem měření je infračervené vibrační spektrum studované látky. Je to v podstatě graf, na jehož horizontální ose je vlnová délka IČ záření, na vertikále “průchodnost” záření vzorkem, tzv. transmitance. Změna rotačního a vibračního stavu molekul se projeví poklesem transmitance při odpovídající vlnové délce, tzv. absorpční pás). Absorpční pásy ve spektru odpovídají jednotlivým vibracím molekuly. Z vibračního spektra tak lze získat informace o molekulách resp. skupinách atomů i o jejich uspořádání. Vedle identifikace látek lze metody IČ spektrometrie použít ke studiu rozložení nábojů v molekulách, mezijaderných vzdáleností, přítomnosti vody v krystalech či ke kvantitativní analýze směsí látek atd.

#### Infračervené spektrum

Infračervené spektrum vzniká superpozicí absorpčních pásů náležících vibracím dvojic atomů, skupin atomů nebo celé molekuly. Znázorňuje závislost absorpance A nebo transmitance T na vlnočtu nebo vlnové délce.

V infračerveném spektru se rozlišují dvě oblasti: a) oblast skupinových vibrací mezi 4 000 až 1 400  $\text{cm}^{-1}$ , b) oblast “otisku palce” pod 1 400  $\text{cm}^{-1}$ , kde se nacházejí deformační a skeletové vibrace, které jsou charakteristické pro molekulu jednotlivé chemické sloučeniny. [8, 9]

## Vibrační spektroskopie

Vibrační spektroskopie se zabývá studiem pohybů jader v molekulách, tj. molekulárních vibrací, a to prostřednictvím interakce molekuly se zářením, která vede k vibracím přechodům molekuly. Molekulární vibrace rozdělujeme podle počtu atomů v molekule: a) **biatomická** molekula jejíž vibraci chápeme jako periodickou změnu mezijaderné vzdálenosti; b) **polyatomická molekula**, kde k popisu molekuly je vhodné přejít od kartézské souřadné soustavy do souřadnic vnitřních, kterými mohou být např. meziatomové vzdálenosti (N-1), vazebné (N-2) a torzní (N-3) úhly. Vnitřní souřadnice molekuly představují základní údaje o struktuře molekuly a určí se experimentálně z RTG strukturní analýzy doplněné neutronovou difrakcí pro určení poloh atomů vodíku. [8, 9]

### Druhy vibrací polyatomických molekul

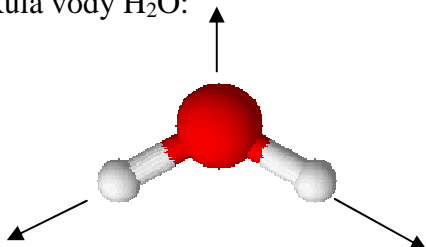
**Vibrace aktivní v infračerveném spektru** - polohy těžiště molekuly se při vibracích nemění. Dělí se na valenční a deformační.

**Valenční vibrace** - jsou spojeny s prodlužováním a zkracováním vzdálenosti mezi atomy beze změny vazebné osy nebo vazebného úhlu. Dvouatomové skupiny (například O-H) mají jednu valenční vibraci, víceatomové skupiny mají symetrickou valenční vibraci *s* a asymetrickou valenční vibraci *as*.

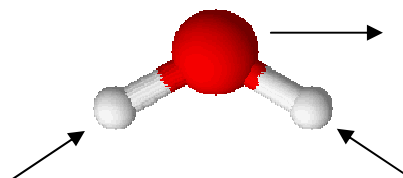
**Deformační vibrace** - souvisí s kontinuální změnou vazebného úhlu. Dělí se na rovinné a mezirovinné.

**Skeletové a kruhové vibrace** - jsou vibrace, kterých se účastní celé řetězce v uhlíkovém skeletu nebo více vazeb v cyklických sloučeninách. Například skeletové vibrace skupin  $-\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ ,  $-\text{C}(\text{CH}_3)_3$  nebo kruhové vibrace epoxidového, furanového nebo pyridinového kruhu. [8, 9]

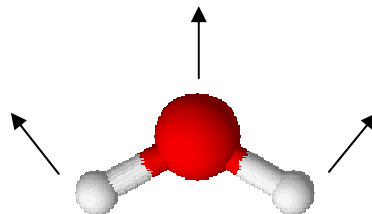
Molekula vody  $\text{H}_2\text{O}$ :



Obr. č. 9 - Symetrická valenční vibrace



Obr. č. 10 - Asymetrická valenční vibrace



Obr. č. 11 - Symetrická deformační vibrace

Souřadnice nazýváme vlastními (též normálními) vibračními souřadnicemi. Normální vibraci lze chápat jako periodickou změnu jí příslušející tzv. normální souřadnice, označované zpravidla  $q_i$ . V případě biatomické molekuly splývá jediná normální souřadnice molekuly s jedinou vnitřní souřadnicí této molekuly, tj. mezijadernou vzdáleností  $r$ . Literatura uvádí, že normální vibrační souřadnici lze vyjádřit jako lineární kombinaci vnitřních souřadnic. Navíc je popsán fakt, že pokud je více koeficientů transformace nenulových, jde o spřažené normální vibrace. Ale v okamžiku kdy normální vibrační souřadnice splývá s jedinou vnitřní souřadnicí, hovoříme o charakteristické vibraci. [10]

Hlavním úkolem vibrační spektroskopie je stanovit vlastní hodnoty energie pro co největší počet vibračních módů. Znalost těchto módů umožňuje stanovit některé detaily struktury molekuly. Tyto hodnoty se zjišťují interakcí s elektromagnetickým polem. Pro tuto diplomovou práci se použila metoda infračervené absorpční spektroskopie, která studuje vibrační hladiny molekul prostřednictvím absorpce fotonu odpovídající vlnové délky. Jedná se tedy o fotony s energií v IČ oblasti spektra (v našem případě v oblasti  $700 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ ). Každému vibračnímu módu aktivnímu v absorpci přísluší pás ve spektru. Tento pás je charakterizován 1) polohou jeho maxima na ose vlnočtů – označuje se jako vlnočet pásu normální vibrace  $\tilde{\nu}$ , udává se v  $\text{cm}^{-1}$  a ze vztahu  $E = hc\tilde{\nu}$  určuje energii přechodu z  $n = 0$  na  $n = 1$  oscilátoru příslušejícího dané normální vibraci; 2) polohou jeho maxima na ose intenzit (lze udávat v transmitanci čili propustnosti nebo absorbanci). Intenzita absorpce se udává jako plocha absorpčního pásu a určuje pravděpodobnost daného přechodu. Její závislost na koncentraci zředěných roztoků je určena Lambert-Beerovým zákonem; 3) svým tvarem (Gaussovský, Lorentzovský), který určuje interakce, k nimž ve vzorku dochází. [10]

## 3.2. Metoda zeslabené totální reflexe

### (ATR – Attenuated Total Reflectance)

Jde o moderní techniku, vhodnou pro silně absorbující kapalné a viskózní vzorky, pasty, gely, polymerní vrstvy i práškové vzorky. Především se metoda ATR volí tehdy, kdy se zajímáme o povrch studovaného materiálu, který tvoří příliš silnou vrstvu nebo které absorbují příliš silně pro sledování propustnosti včetně např. silných polymerních filmů. Její podstatou je totální vnitřní reflexe infračerveného záření po průchodu hranolem o velkém indexu lomu (v našem případě ZnSe). Ve vzorku, který je v těsném kontaktu s krystalem, vzniká při totálním odrazu na rozhraní opticky hustšího prostředí (ATR hranol) s prostředím opticky řidším (vzorek) evanescentní vlna v oblasti absorpce. [10]

### Vlastnosti evanescentní vlny

- a) klesá exponenciálně se vzdáleností od rozhraní (řádově  $\mu\text{m}$ )
- b) umožňuje zkoumat silně absorbující vzorky [10]

### Faktory ovlivňující ATR absorpci

- a) **vlnová délka IČ záření** – ze závislosti hloubky průniku na  $\lambda$  plyne, že relativní intenzity pásů v ATR spektru klesají se vzrůstajícím vlnočtem ve srovnání s transmisním spektrem téhož vzorku – proto je nutné provést tzv. ATR-korekci
- b) **index lomu** - se vzrůstem indexu lomu krystalu kritický úhel a klesá hloubka průniku (intenzity čar klesají při záměně krystalu ZnSe za krystal Ge). Pro vzorky s velkým indexem lomu je zapotřebí krystal s vysokou hodnotou indexu lomu. [10]

### Materiál krystalu ATR

Vliv hraje především index lomu, oblast propustnosti pro IČ záření a chemické vlastnosti krystalu (jeho odolnost proti agresivním látkám) [10]

### 3.3. Měření barevnosti ve stavební praxi

#### Systémy popisu barev

Nejjednodušeji se barvy popisovaly srovnáváním s určitými barevnými standardy, kterými jsou tzv. atlasy barev. Tyto systémy jako např. Ostwaldův systém, Munsellův systém, systém dle DIN 6164 jsou systematicky řazené barvy co do odstínu, sytosti a jasů. V dnešní době jsou tyto systémy, díky nástupu výpočetní techniky, na ústupu a ve stavebnictví se nepoužívají snad vůbec, proto se o nich dále nebudeme zmiňovat, kromě jediného. Ve stavební praxi se hojně používá tzv. NCS (Natural Color System) systém. Těleso barev NCS je tvořeno 40 mapami ve tvarech trojúhelníku otáčejících se kolem středové, černo-bílé osy. Dva vrcholy každého trojúhelníku tvoří vždy černá a bílá (jejich spojnicí středová černo-bílá osa) a třetí vrchol tvoří 100% sytá barva od modré přes zelenou a žlutou do červené a zpět k modré. Od barevného vrcholu trojúhelníku k černo-bílé ose, tedy kolmo na tuto osu, je odstupňována sytost po 10% a rovnoběžně s touto osou je odstupňován jas. Máme-li tedy barvu s označením 2030-Y90R znamená „20“ 20% černé (jasová složka barvy), „30“ 30% sytosti (vzdálenost od černo-bílé osy) a „Y90R“ znamená odstín mezi žlutou (Y = yellow) a červenou (R = red) s 90% červené. Pokud je před označením barvy písmeno „S“ znamená to druhou (S = second) edici vzorkovníku, která obsahuje 1750 barev. Vzorkovnice tohoto systému se ve stavebnictví běžně používají spolu s mnoha dalšími, většinou firemními vzorkovníky barev. Uživatel si jeho systematickosti většinou není vědom a bere ho pouze jako jeden ze vzorkovníků. [11, 12]

#### Matematický popis barvy

Snaha popsat barvu zcela jednoznačným způsobem začala sklízet své plody až na začátku minulého století, a to od roku 1924, kdy vznikla společnost CIE (Commission Internationale de l'Eclairage – Mezinárodní komise pro osvětlování), která od svého vzniku definuje jednotlivé způsoby vyjadřování barvy. K tomu, abychom mohli barvu jednoznačně popsat je nutné definovat podmínky osvětlování a pozorování. [11, 12]

## **Zdroj**

Zdroj „D65“ – denní světlo s ekvivalentní teplotou chromatičnosti 6504 K a zdroj „F11“ – zářivka Philips TL 84 s náhradní teplotou chromatičnosti 4000 K. Ve stavebnictví je zcela zásadní zdroj D65. Obecně je tento zdroj považován za velmi dobrý ekvivalent normálního denního světla. [11, 12]

## **Barevné prostory**

Barevných prostorů existuje celá řada. Jsou založeny na faktu, že k popisu všech barev stačí tři čísla. Budeme se zabývat pouze dvěma barevnými prostory, které mají pro nás zcela zásadní praktický význam. Jedná se o prostor CIE XYZ z roku 1931 a prostor CIE  $L^*a^*b^*$  z roku 1976. [11, 12]

## **Prostor $L^*a^*b^*$**

Pro technickou praxi je mnohdy nezbytně nutné umět popsat, co možná nejjednodušším způsobem, barevné rozdíly mezi dvěma vzorky. Prostor XYZ bohužel není z tohoto hlediska prostorem ideálním, ve kterém by platilo, že dvě dvojice barevných tónů (např. dvojice modrých a žlutých barev) mají stejnou vizuální odchylku právě tehdy, když takovou odchylku lze vyjádřit i stejným číslem. Snahou bylo tedy provést transformaci složek X, Y, Z do barevného prostoru lépe vyjadřujícího tento požadavek. V roce 1976 byly standardizovány transformační rovnice pro systém označovaný jako CIE  $L^*a^*b^*$  1976. Trichromatické složky X, Y, Z byly transformovány do složek  $L^*a^*b^*$ , které tvoří pravoúhlý barevný prostor. [11, 12]

## **Kulová geometrie**

Kulová geometrie (označuje se d/8) je dnes mnohem rozšířenější a to pro větší univerzálnost měření. Princip spočívá v měření s bílou koulí, kde fotodetektor je umístěn pod úhlem  $8^\circ$  od kolmice k povrchu vzorku. Měření remisní křivky se tedy provádějí jak se zahrnutím lesku (označuje se SPIN) tak bez něj (označuje se SPEX). Měření způsobem SPEX podává u matných nátěrů obdobné výsledky jako mířená geometrie, proto je uspořádání d/8 v praxi častěji využíváno pro svou větší univerzálnost. [11, 12]

## 4. Experimentální část

Použité přístroje:

FTIR spektrofotometr Spectrum One (Perkin Elmer)

UV-VIS spektrofotometr Cintra 202 (GBC)

Analytická váha Sartorius

Laboratorní pec Memmert

Laboratorní sušárna Memmert

K vytvoření databáze hydroizolačních folií bylo k dispozici 40 nových nepoužitých fólií. V těchto případech je znám výrobce a u některých i přesné typové označení (viz. tabulka číslo 1). Všechny fólie byly z obou stran proměřeny na FTIR spektrofotometru. Pro tento typ vzorků je vhodné použít některou z odrazných technik. V naší laboratoři je k dispozici víceodrazové ATR s krystalem ze selenidu zinečnatého. Spektra po změření mají ale různou intenzitu, jsou různě zešikmená a posunutá vůči tzv. backgroundu. Background neboli pozadí je hodnota energie, která dopadá na detektor když je krystal prázdný, bez vzorku. Takto naměřená „surová“ spektra se pro vzájemné porovnání musí upravit. K tomuto slouží operace jako je normalizace, korekce na baselinu, popř. vyhlazení. V našem případě bylo nejobtížnější najít vhodné parametry pro tzv. normalizaci. Normalizace je matematická úprava spektra, která vede k sjednocení intenzity spekter a odstraní tedy vliv velikosti přitlaku ke krystalu a v případě nerovného povrchu nestejné plochy, ze které bylo spektrum snímáno. tato operace je běžnou součástí každého ovládacího softwaru pro FTIR spektrofotometry, a proto zde nerozvádím použitý matematický aparát, který je nepodstatný. Pro běžného uživatele FTIR spektrofotometru je důležitá pouze vhodná volba intenzity spektra a výběr spektrální oblasti, které ve všech srovnávaných spektrech přiřadíme stejnou intenzitu. Běžně se provádí normalizace na nejintenzivnější pík ve spektru, kterému se přiřadí vhodná intenzita. V našem případě nebyla tato metoda zvolena, protože nejintenzivnější pík v jednotlivých spektrech nepatří vždy té samé vazbě. Ideální by bylo nalézt ve všech spektrech pík, tedy vazbu, která je obsažena ve všech měřených vzorcích a pokud možno má stejnou intenzitu, nebo se příliš nemění. Této podmínce v našem případě nejvíce odpovídá některý z píků valenčních vibrací C-H vazeb z alifatického řetězce, resp. některý z píků valenčních vibrací C-H vazeb ze skupin –

$\text{CH}_3$  a  $-\text{CH}_2-$ . Protože některá ze spekter byla celkově spíše málo intenzivní a některá více, hledal se vhodný parametr intenzity píků mezi  $3000\text{ cm}^{-1}$  a  $2800\text{ cm}^{-1}$ . Problematictější jsou obecně slabá spektra, protože při tzv. zesílení v rámci normalizace dochází samozřejmě k zesílení vždy přítomného šumu a potom by bylo nutno spektra příliš vyhlazovat a mohlo by dojít ke zkreslení. Jako nejlepší byl vyhodnocen parametr 0,3, kdy spektra byla dostatečně intenzivní, aby byla přehledná a zároveň nebyla příliš ovlivněna šumem. Tedy veškerá spektra byla před zařazením do knihovny normalizována na C-H alifatické vazby s parametrem 0,3 a srovnána na baselinu tak, aby v místech, kde se nevyskytuje žádný pík, byla hodnota transmitance co nejbližší 100 %. Takto je třeba upravit i spektrum neznámé fólie, kterou chceme identifikovat pomocí vytvořené knihovny.

Jednotlivé fólie se liší jak základním složením, použitým polymerem tak i obsahem dalších doprovodných látek jako jsou plniva, stabilizátory, změkčovadla, barviva apod. Ne všechny tyto látky je možno pomocí IR spektra identifikovat, nebo alespoň najít rozdíly ve spektru při jejich přítomnosti resp. nepřítomnosti. Proto je nereálné zjistit přesně druh fólie (výrobce, typové označení, přesné složení) pouze podle IR spektra. Abychom obdrželi další informace sloužící k zpřesnění určení původu fólie, bylo nutno získat další doplňující informace.

Vlastnosti každé fólie ovlivňuje obsah anorganických látek, který jsme určili gravimetricky. Vzorky fólií byly zváženy a spáleny při teplotě  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zbýlý popel obsahoval anorganická plniva, pigmenty a vnitřní zpevňující síť v případě použití skelných vláken. Podle tohoto obsahu je možné odlišit fólie, které jsou vyrobeny ze stejného plastu, ale liší se v tomto parametru, který podle IR spektra sejmutého z povrchu fólie nelze posoudit.

Dalším pomocnou informací jsou souřadnice barevnosti, které lze použít i pro posouzení stupně degradace především vlivem vysokých teplot a slunečního záření.

Vytvořená knihovna byla testována na skupině vzorků starších folií. Jednalo se o fólie poškozené a použité a o fólie nepoužité, které zbyly jako „odřezky“ po pokládce. Bohužel u mnohých neznáme výrobce a typ, tedy není kontrola, zda knihovna vzorek přiřadila správně. Také bohužel již od pohledu je zřejmé, že některé z folií již použitých nemáme typově v knihovně pokryty. V tomto případě je možné přiřadit pouze fólii nejvíce podobnou, ale je pravděpodobné, že tyto fólie pochází od stejného výrobce, nebo alespoň mají podobné vlastnosti.



Protože jedním z nejvlivnějších faktorů způsobujících celkovou degradaci nebo místní poškození je působení vysoké teploty při svařování a při vystavení slunečnímu svitu při použití na střeše, byly fólie vystaveny zvýšené teplotě. Vysoká teplota poškozuje zejména fólie z měkčeného PVC, které jsou nejběžnější. Ideální by bylo pro simulaci dlouhodobé expozice vysoké teplotě na střeše použití xenotestu. Zde by se zároveň simulovala expozice UV záření. Tento přístroj v současné době bohužel není na Technické univerzitě v Liberci k dispozici a byly tedy z časových důvodů pro ilustraci takto testovány pouze dva vzorky ve firmě Huntsman. Krátkodobá expozice, např. při svařování (v některých případech se svařuje až při 400 °C) byla nahrazena zahřátím folií na 200 °C po dobu 20 min v sušárně. teplota byla zvolena nižší, protože se nepředpokládá, že by svařovací pistole nastavená na 400 °C za řádově několik sekund kdy mífí na jedno místo fólii prohřála více. PVC sice degraduje již při 60 °C, ale tuto hodnotu ovlivňují použítá plniva a stabilizátory. Především obsah použitých plniv (nejčastěji kaolin a podobné látky) a obsah změkčovadel (ftaláty) ovlivňují také i svařitelnost jednotlivých fólií. Různorodost chování fólií ze stejného polymeru, ale lišících se těmito přídavnými látkami byla tímto testem potvrzena (obrázky spekter, fotky, změna barvy, obrázky, spektra a hodnoty barevnosti dvou vzorků z xenotestu).

## **4.1. Seznam některých výrobců hydroizolačních folií**

### **1) Fatrafol**

Fatrafol je hydroizolační systém, který byl vyvinut odborníky z Fatry, a.s. Střešní hydroizolační fólie jsou vyráběny více jak 25 let. Hydroizolační fólie z Fatry jsou určeny jak pro střechy, tak základy, zemní konstrukce, jezírka a vodní nádrže. Fólie Fatrafol jsou vhodné pro novostavby i rekonstrukce. [15]

### **2) Plastiflex**

Hydroizolační systém Plastiflex je určen pro vytváření izolačních opatření spodních staveb, zejména základů a podzemních částí konstrukcí, tunelů, nádrží a jímek, zásobníků s ropnými produkty parkovišť a garáží a podobných staveb. Typy hydroizolačních folií Plastiflex, které byly k dispozici pro tuto diplomovou práci:

**a) Plastiflex GF**

Plastiflex GF je nevyztužená izolační fólie z měkčeného PVC (PVC-P) určená pro izolace pozemních a podzemních staveb proti tlakové a prosakující vodě, jako izolační soustava systémů proti pronikání kapalin a výluhů do spodních vod a jako účinná izolace proti pronikání radonu. Fólie Plastiflex GF se používají především pro izolace základů a spodní stavby a jako izolace proti radonu. [16]

**b) Plastiflex GLSO**

Plastiflex GLSO je nevyztužená izolační fólie z měkčeného PVC (PVC-P) určená pro izolace podzemních staveb proti agresivní tlakové a prosakující vodě, jako izolační soustava systémů proti pronikání kapalin a výluhů do spodních vod. Fólie Plastiflex GLSO je určena zejména pro izolace tunelů. [16]

**c) Plastiflex ABN 1**

Plastiflex ABN 1 je nevyztužená izolační fólie z měkčeného PVC (PVC-P) s příměsí gumy určená pro izolace pozemních a podzemních staveb proti agresivní tlakové a prosakující vodě, jako izolační soustava systémů proti pronikání kapalin a výluhů do spodních vod, pro nepřímý styk s ropnými látkami a jako protiradonová izolace. Fólie Plastiflex ABN 1 se používají především pro izolace základů parkovišť a garáží. [16]

**e) Plastiflex GLB**

Plastiflex GLB je nevyztužená izolační fólie z měkčeného PVC (PVC-P) určená pro izolace podzemních staveb proti agresivní tlakové a prosakující vodě, jako izolační soustava systémů proti pronikání kapalin a výluhů do spodních vod. Fólie Plastiflex GLB je určena zejména pro izolace jezírek, nádrží, jímek odpadních vod (s vyloučením styku s ropnými látkami). Fólie Plastiflex GLB je odolná UV záření. [16]

**f) Plastiflex GLT**

Plastiflex GLT je bezbarvá, transparentní, nevyztužená izolační fólie z vysoce kvalitního měkčeného PVC (PVC-P) určená pro izolace podzemních staveb proti agresivní tlakové a prosakující vodě, jako izolační soustava systémů pro pronikání

kapalin a výluhů do konstrukcí nebo spodních vod. Fólie Plastiflex GLT je určena zejména pro izolace tunelů. [16]

#### 4) Sikaplan typ G

Sikaplan typ G se používá jako mechanicky kotvená jednovrstvená hydroizolace střech bez zatížení (šedové střechy výrobních hal se světlíky a ostatním příslušenstvím, střechy se zvláštními členitými tvary). Fólie je vhodná jak pro nové skladby střech, tak pro sanace a opravy starých střech s jakýmkoliv podkladem. [17]

Obr. č. 12 - Hydroizolační fólie Fatrafol



Obr. č. 13 - Hydroizolační fólie Sikaplan



## 4.2. Obsahy plniv různých typů hydroizolačních fólií

Tab. 1 - Nepoužité fólie z měkčeného PVC a polydiallylftalátu

Název vzorku	Obsah plniv (%)
1 – Kingspan	25,86
8 – Fatrafol	7,86
17 – Plastiflex GLT, SP. 2,5 mm	0,13
18 – Plastiflex GLSO/SL II, SP. 2,0 mm	30,94
19 – Plastiflex ABN1, SP. 1,5 mm	30,4
20 – Plastiflex GLB/SL, SP. 1,5 mm	21,43
21 – Plastiflex GF	30,46
33 – van besouw – BesoTec SD 1.2	17,65
34 – van besouw – 400/D 1.2 mm Premium	16,4
35 – van besouw – 400/D Premium	16,98
37 – van besouw – BesoTec S 1.2 colour 310	18,81
39 – van besouw – BesoTec SD 1.5	19
40 – van besouw – BesoTec S 1.2 colour 651	18,25
41 – van besouw – Besotec SX 1.2	22,98
42 – van besouw – BesoTec N 1.5	24,4
43 – van besouw – BesoWalk colour 651	24
50 – Sikaplan 12 G	11,4
51 – Sikaplan 15 G	11,85
52 – Sikaplan 18 G	13,25
53 – Sikaplan 24 G	14,35
54 – Sikaplan 15 G	12,5
55 – Sikaplan 15 G (zelený)	14,11
57 – Sikaplan 12 GU	10,73
58 – Sikaplan 15 GU	11,68
59 – Sikaplan 18 GU	13,83
60 – Sikaplan 15 D	15,72
65 – Sikaplan 14,6 V Tunnel	21,11
66 – Sikaplan 15 V Tunnel	21,52
67 – Sikaplan 15 P	22,2
68 – Sikaplan 12 T	18,68
69 – Sikaplan 8 G Tex	1,14

Tab. č. 2 - Nepoužité fólie pouze z měkčeného PVC

Název vzorku	Obsah plniv (%)
24 – neznámý vzorek	9,5
29 – neznámý vzorek	0,37

Tab. č. 3 - Nepoužité fólie z ethylenvinylacetátu

Název vzorku	Obsah plniv (%)
30 – neznámý vzorek A	11,5
30 – neznámý vzorek B	3,5
31 – neznámý vzorek	13,9

Tab. č. 4 - Nepoužité fólie z čistého polyethylenu

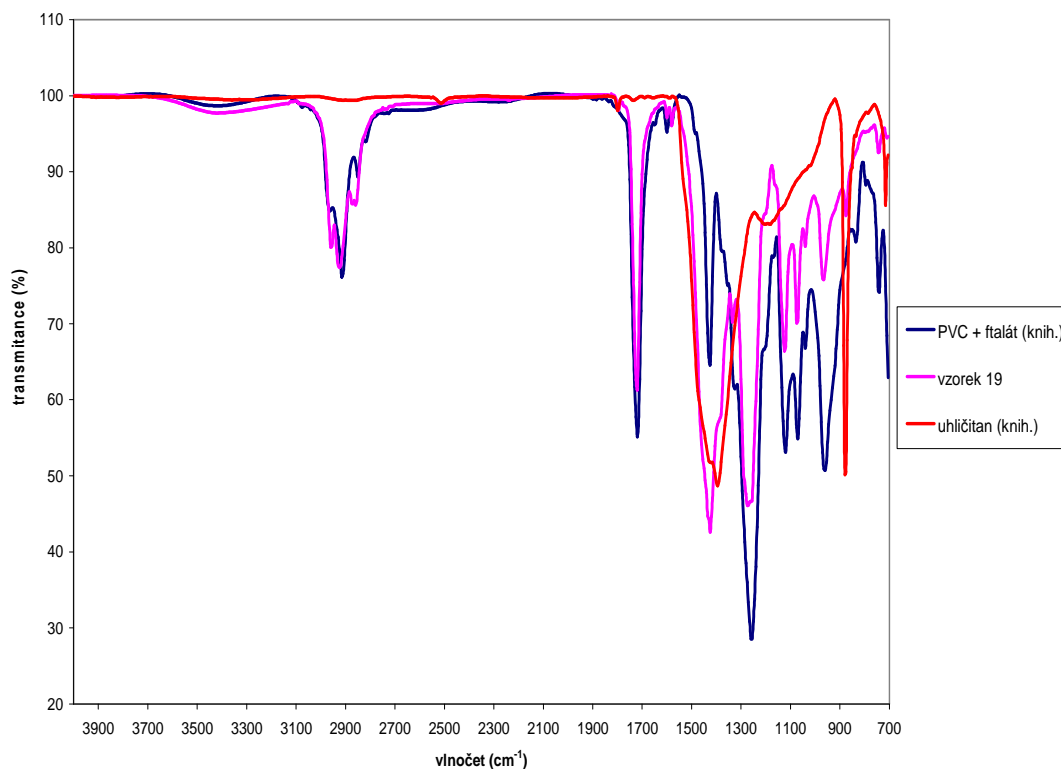
Název vzorku	Obsah plniv (%)
32 – neznámý vzorek	12,9

Tab. č. 5 - Nepoužité fólie z chlorsulfonovaného polyethylenu

Název vzorku	Obsah plniv (%)
61 – Sika Norm Hypalon 13 G	39,13
62 – Sika Norm Hypalon 12 A	57,8
63 – Sika Norm Hypalon 15	49,12

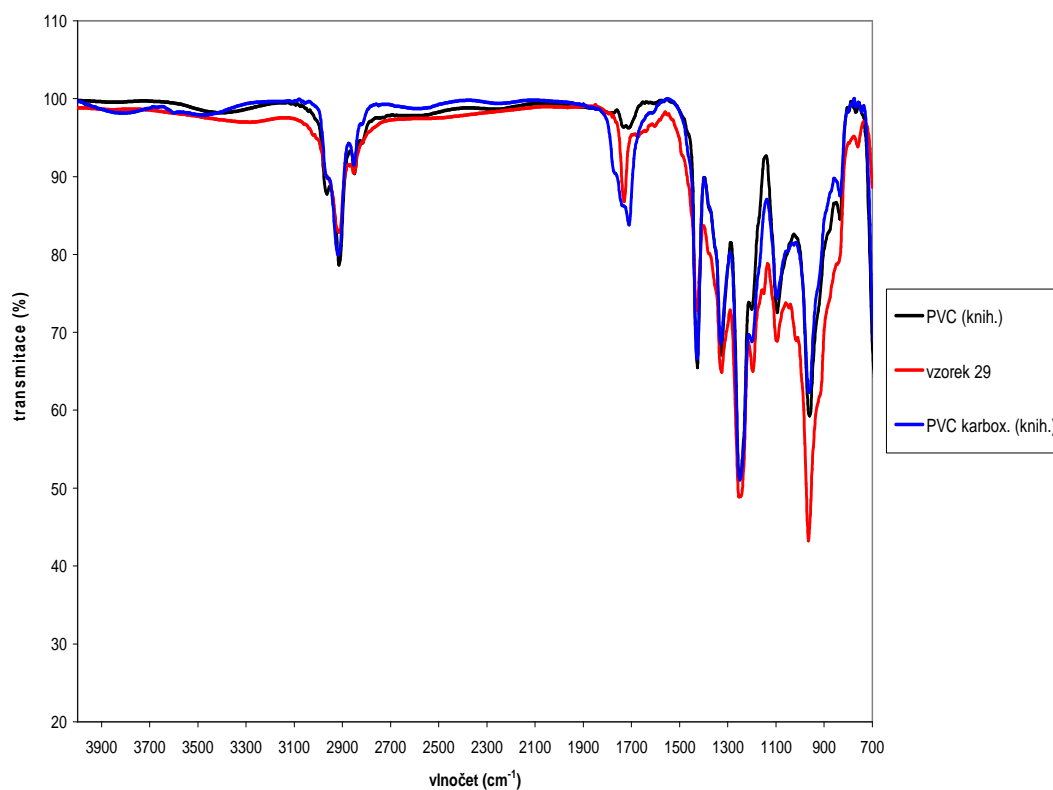
### 4.3. Porovnání IČ spekter nepoužitých i použitých fólií s knihovnou IČ spekter

Obr. č. 14 — Porovnání IČ spektra nepoužité fólie č. 19 s knihovnou spekter



Vlnóčet (cm <sup>-1</sup> )	Typ vibrace
3411	valenční vibrace vazby O-H
2965	valenční vibrace asymetrická vazby C-H z - CH <sub>3</sub>
2925	valenční vibrace asymetrická vazby C-H z CH <sub>2</sub>
3015-2770	valenční vibrace vazby C-H z alifatického řetězce
1794	uhličitan
1720	valenční vibrace vazby C=O z ftalátu
1602-1579	valenční vibrace vazby C=C
1520-1300	deformační vibrace vazby C-H + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
874	valenční vibrace vazby CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
pod 650	valenční vibrace vazby C-Cl

Obr. č. 15 - Porovnání IČ spektra nepoužité fólie č. 29 s knihovnou spekter



Vlnčet ( $\text{cm}^{-1}$ )

Typ vibrace

2964

valenční vibrace asymetrická vazby C-H z  $-\text{CH}_3$

2917

valenční vibrace asymetrická vazby C-H z  $-\text{CH}_2$

2850

valenční vibrace symetrická vazby C-H z  $-\text{CH}_3$

2816

valenční vibrace symetrická vazby C-H z  $-\text{CH}_2$

1770 (pouze PVC karbox.)

valenční vibrace vazby C=O z  $\text{R}^1\text{COOR}^2$

1711

valenční vibrace vazby C=O z organické kyseliny

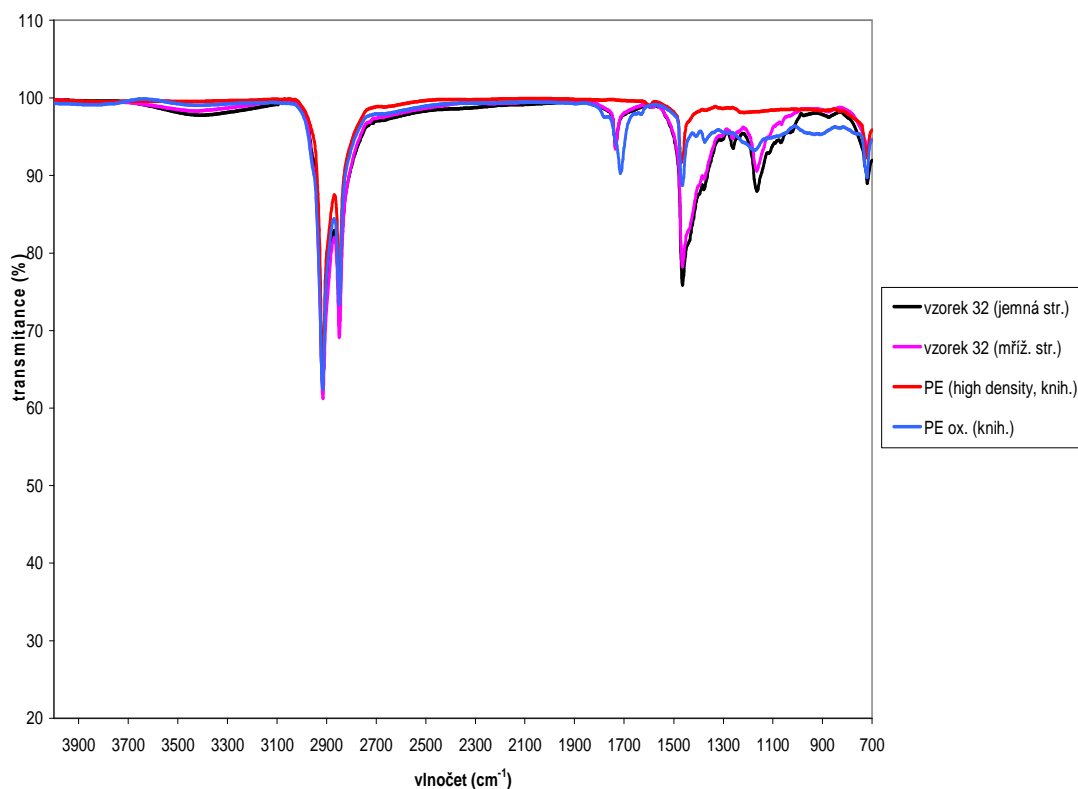
1425

deformační vibrace vazby CH

těsně pod 630

valenční vibrace vazby C-Cl

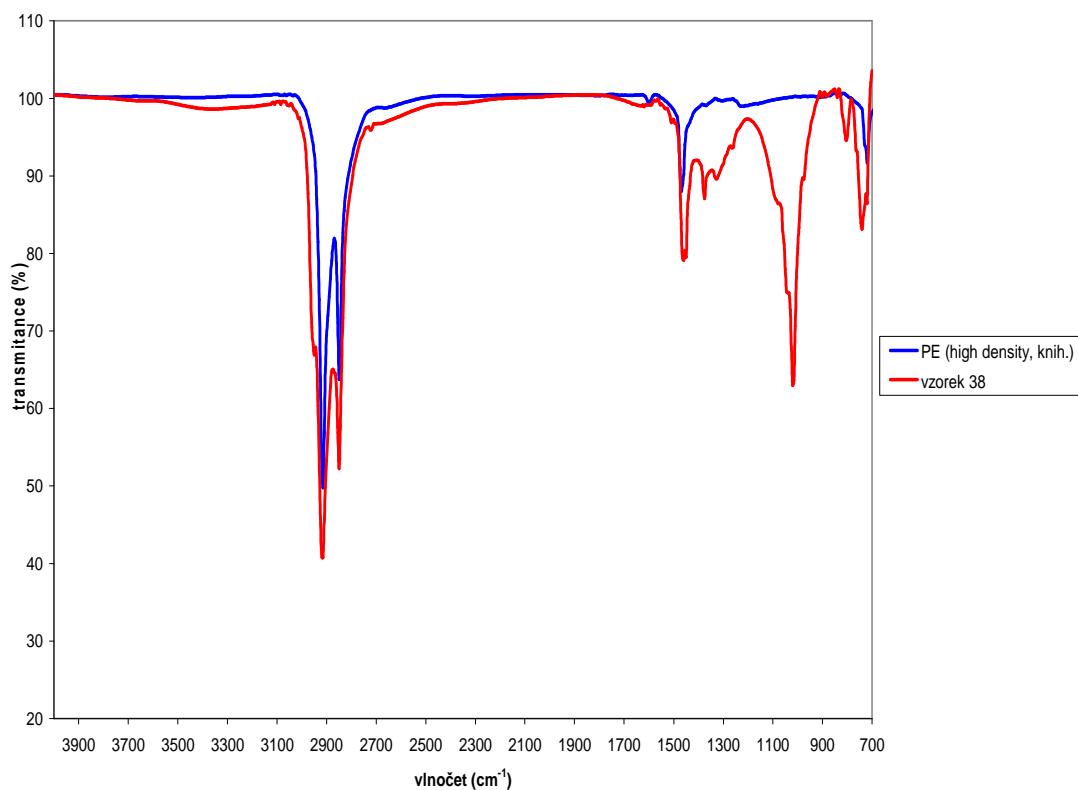
Obr. č. 16 – Porovnání IČ spektra nepoužité fólie č. 32 s knihovnou spekter



Vlnoččet (cm <sup>-1</sup> )	Typ vibrace
3411	valenční vibrace O-H
2957	valenční vibrace asymetrická vazby C-H z CH <sub>3</sub>
2916	valenční vibrace asymetrická vazby C-H z CH <sub>2</sub>
2892	valenční vibrace symetrická vazby C-H z CH <sub>3</sub>
2849	valenční vibrace symetrická vazby C-H z CH <sub>2</sub>
1780 (pouze PEOXID z knihovny)	valenční vibrace vazby C=O z R <sup>1</sup> COOR <sup>2</sup>
1734	valenční vibrace vazby C=O z -CHO
1716	valenční vibrace vazby C=O z organické kyseliny
1465	deformační vibrace vazby C-H



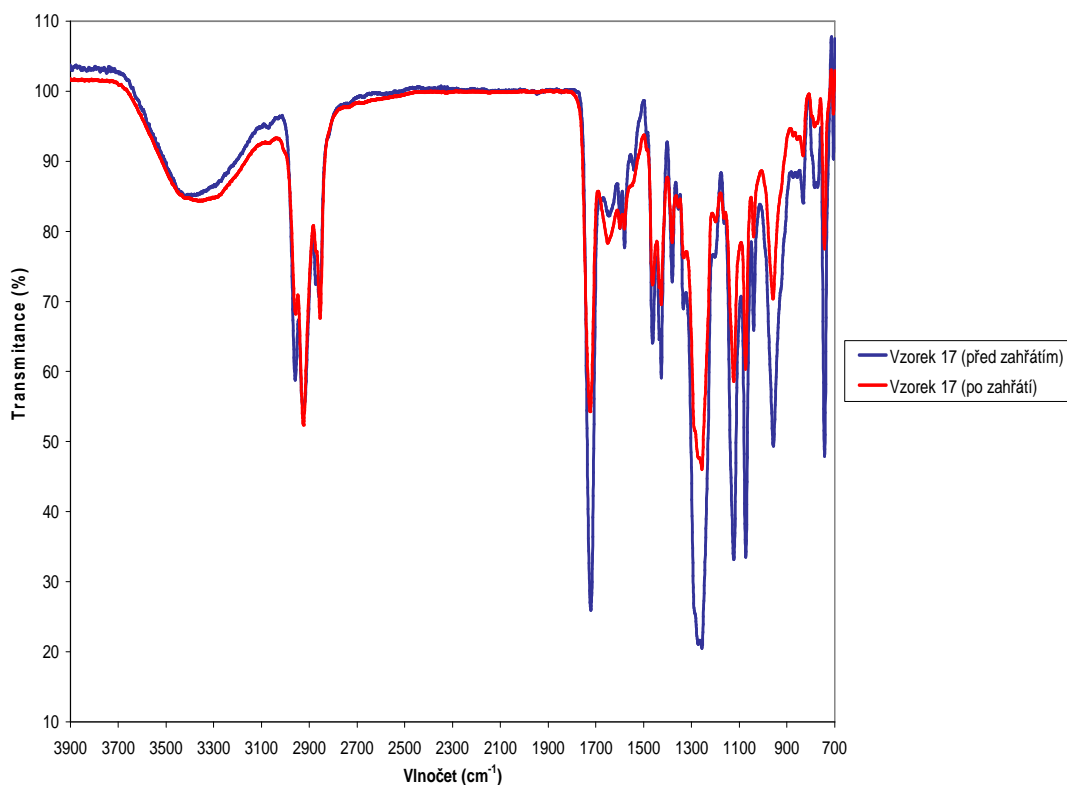
Obr. č. 17 – Porovnání IČ spektra použité fólie č. 38 s knihovnou spekter



Vlnočet ( $\text{cm}^{-1}$ )	Typ vibrace
3360	valenční vibrace vazby O-H
3000-2650	valenční vibrace vazby C-H z alifatického řetězce
1600	valenční vibrace vazby C=C (porucha v polymerní síti)
1500-1400	deformační vibrace vazby C-H
1130-940	valenční vibrace vazby Si-O-Si Si-O-H Si-O-R

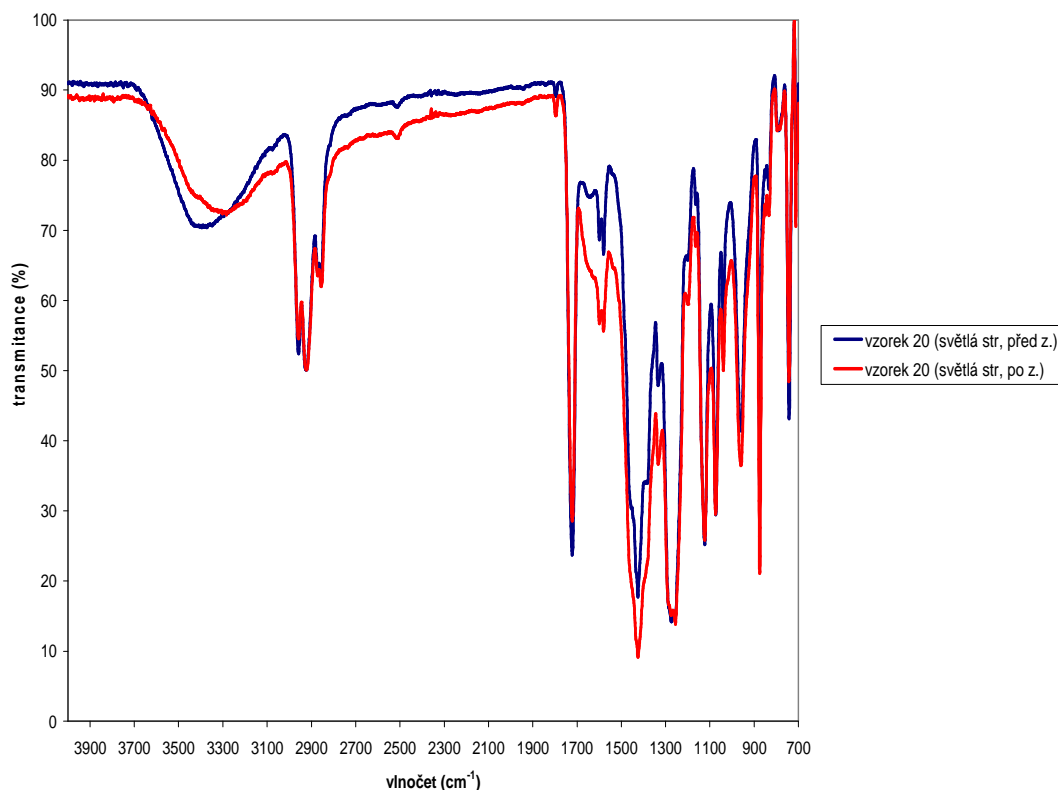
## 4.4. Změny ve složení hydroizolačních fólií po zahřívání

Obr. č. 18 – IČ spektrum nepoužité fólie č. 17 před a po zahřátí (200 °C, 20 min)



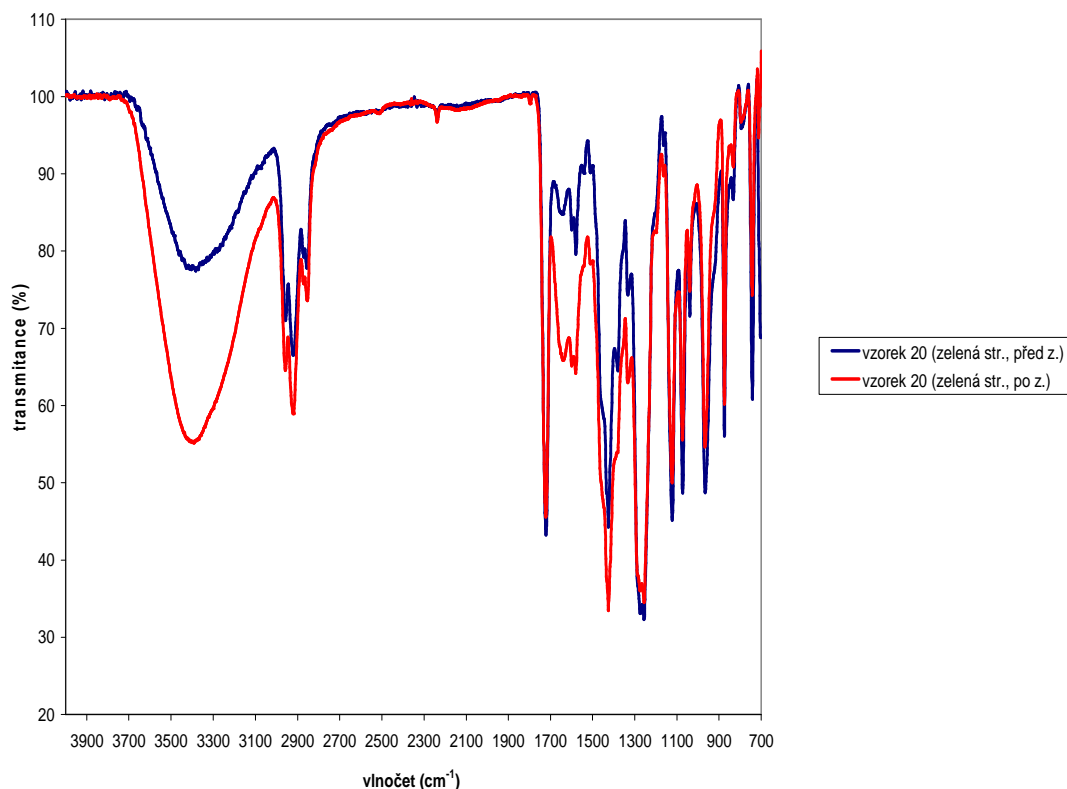
Radikální změny při srovnání IČ spekter nezahřáté a zahřáté fólie číslo 17 (Plastiflex GLT, SP. 2,5 mm), který byl vyroben z měkčeného PVC s vysokým obsahem polydiallylftalátu, jsou v místě odpovídající vlnovce 1720 cm<sup>-1</sup>, kde se vyskytuje změkčovadlo ftalát. Při pohledu na červenou křivku fólie číslo 17 po zahřátí ve zmíněném vlnovce je bezpochyby jasné, že se ftalát uvolňuje a tím jeho koncentrace v této fólii klesá. Tato skutečnost vede k závěru, že fólie číslo 17 degraduje po vystavení vyšší teplotě a tato degradace může mít za následek tvrdnutí až praskání fólie a tím nežádoucí snížení hydroizolačních vlastností.

Obr. č. 19 – IČ spektrum nepoužité fólie č. 20 (světlá strana) před a po zahřátí (200 °C, 20 min)



V případě světlé strany fólie číslo 20 (Plastiflex GLB/SL, SP. 1,5 mm), patřící typově do stejné skupiny fólií jako vzorek číslo 17, jsou změny v IČ spektru zahřáté fólie číslo 20 (červená křivka) především v nárůstu koncentrace dvojných vazeb, které se nacházejí přibližně okolo 1680 cm<sup>-1</sup>. Tento jev je možné připsat též degradaci spojené s odštěpením chloru a následnému nahrazení tohoto chemického prvku dvojnými vazbami. Tato degradace může též přispět ke snížení požadovaných a očekávaných vlastností tohoto druhu fólie.

Obr. č. 20 - IČ spektrum nepoužité fólie č. 20 (zelená strana) před a po zahřátí (200 °C, 20 min)



Při porovnání obrázků IČ spekter číslo 19 a 20 se prokazuje nutnost měřit IČ spektra z obou stran fólie. Jak již bylo popsáno výše, na obrázku číslo 19 došlo převážně k nárůstu koncentrace dvojných vazeb. Na obrázku číslo 20 (fólie číslo 20 - Plastiflex GLB/SL, SP. 1,5 mm, zelená strana) je nárůst dvojných vazeb ještě o něco vyšší (vlnočet okolo  $1680\text{ cm}^{-1}$ ), ale hlavní změna je okolo vlnočtu  $3400\text{ cm}^{-1}$ , v místě kde se vyskytuje O-H skupina. Po zahřátí této fólie se koncentrace O-H skupiny markantně zvýšila, což je jasně vidět na červené křivce ve srovnání s modrou. V této fólii došlo po zahřátí též k odštěpení chloru, což mělo opět za následek zvýšenou koncentraci dvojných vazeb, ale navíc se místo chloru dokázala navázat i O-H skupina ze vzdušné vlhkosti. Opět je na místě považovat tento jev za degradaci hydroizolační fólie.

## 4.5. Xenotest

Pro xenotest byl využit přístroj s těmito specifikacemi:

Typ: Xenotest Beta LM (Firma ATLAS)

Technické specifikace:

Filter Xenochrome 320 (pod 315 nm nepropouští UV záření)

3 Xenonové výbojky typ NXE 2200

E = irradiance neboli záření  $60\text{W/m}^2$

H = celkové záření se vyjadřuje v  $\text{KJ/m}^2$  (záleží na počtu cyklů, kde 1 cykl = 55 hodin);

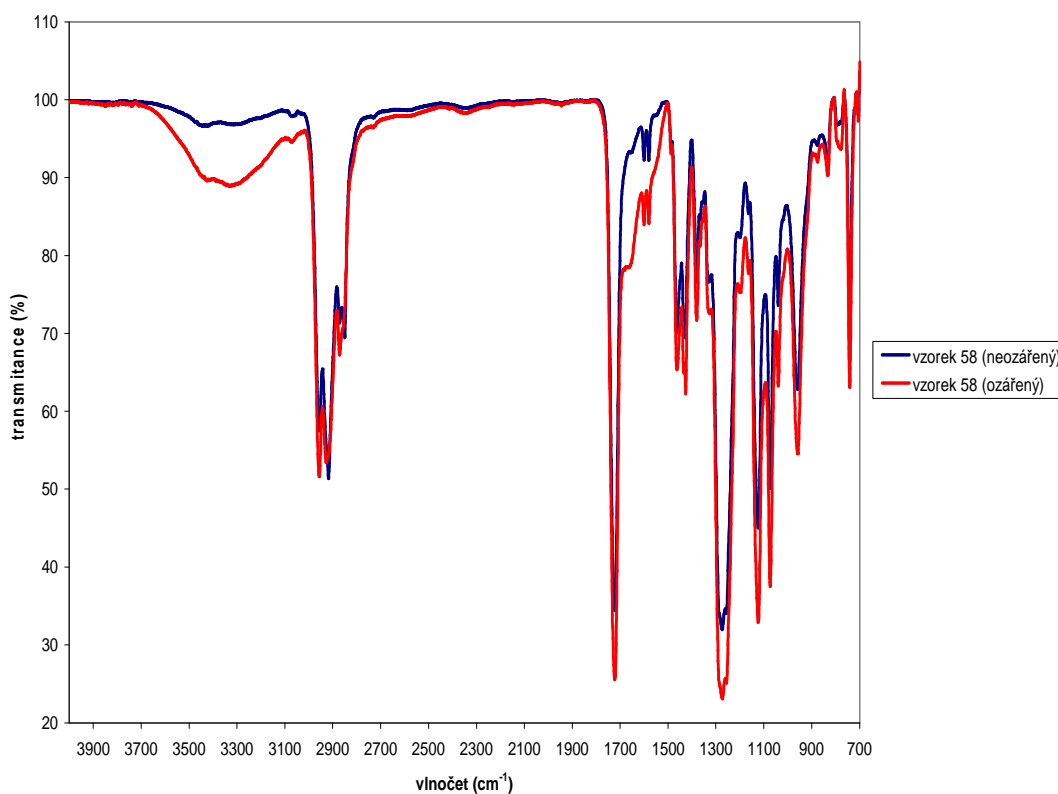
jeden cyklus  $11950\text{KJ/m}^2$  ( $\pm 10\text{kJ/m}^2$ )

R.H. = relativní vlhkost 20 %

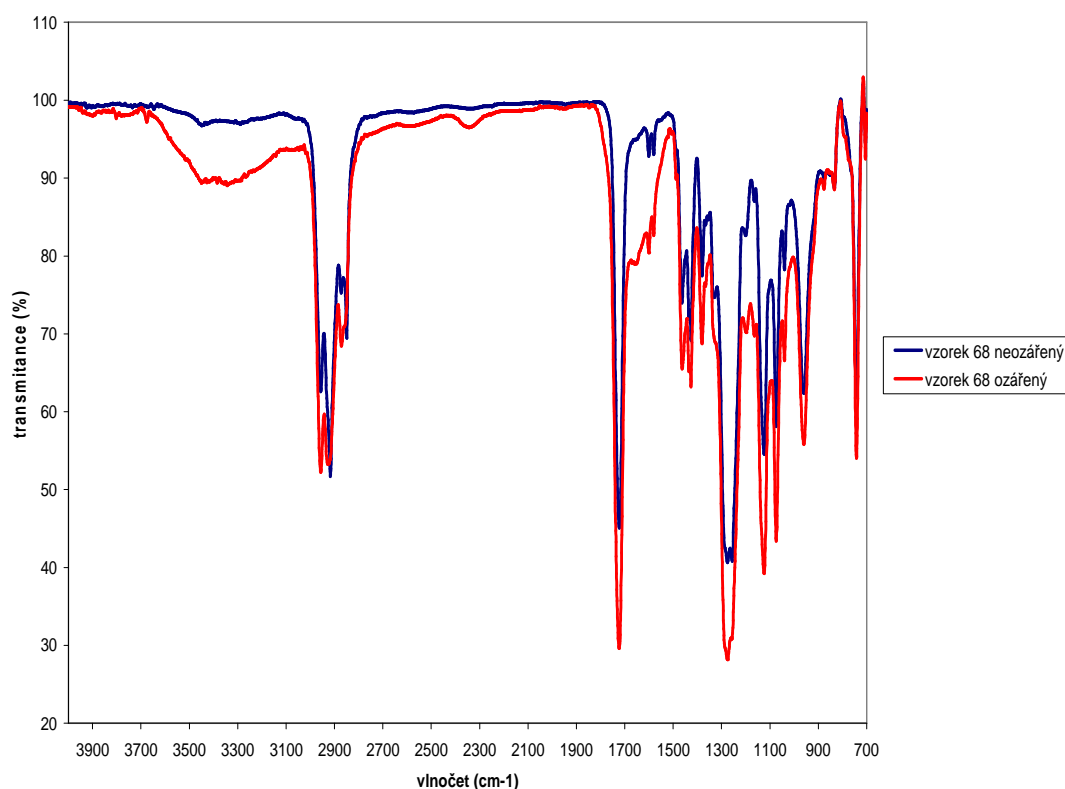
BST = black standard temperature (teplota černého tělesa)  $100\text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 3$  stupně)

CHT = chamber temperature (teplota vzduchu uvnitř testovací komory)  $65\text{ }^\circ\text{C}$

Obr. č. 21 – Porovnání IČ spekter neozářené a ozářené fólie č. 58 (xenotest)



Obr. č. 22 - Porovnání IČ spekter neozářené a ozářené fólie č. 68 (xenotest)

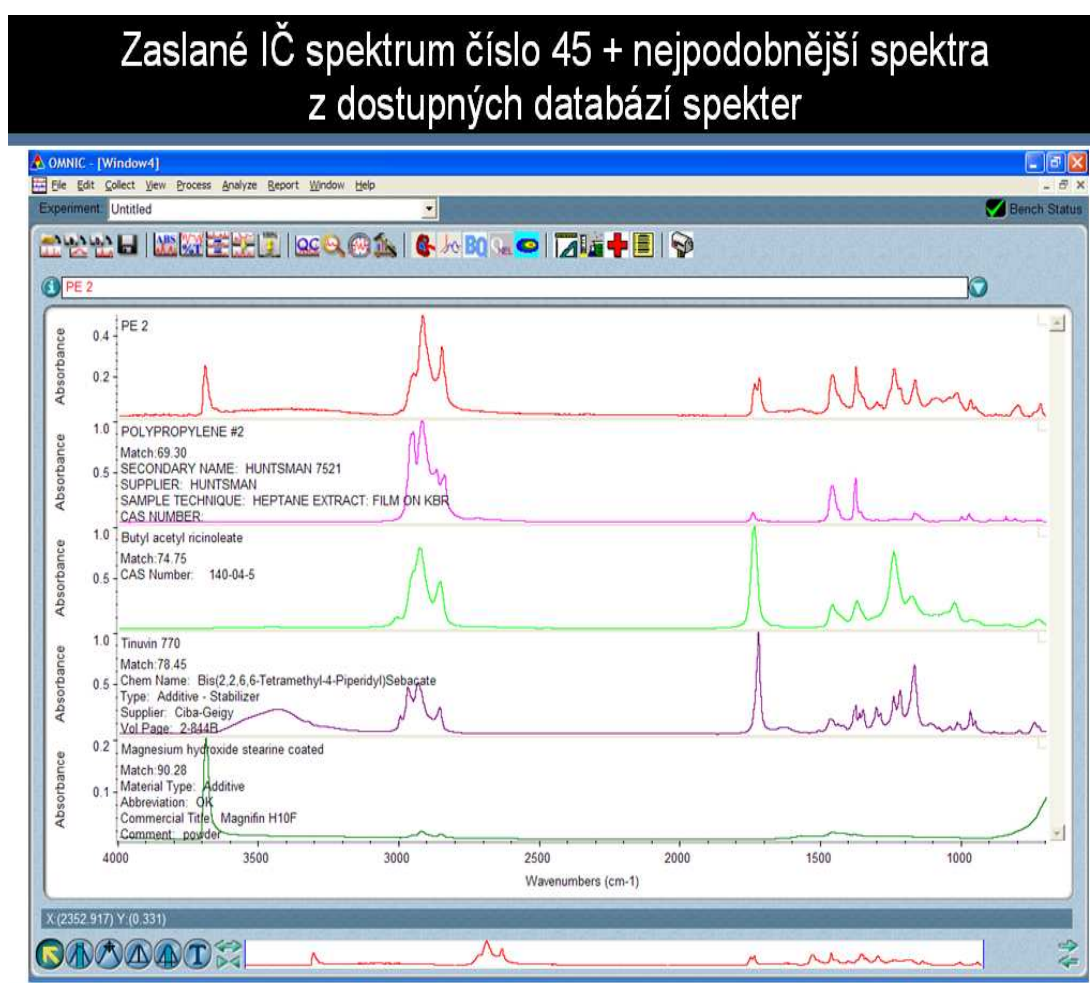


Změny byly hlavně v IČ spektru, podle kterého fólie začala degradovat podobně jako při vystavení pouze zvýšené teplotě. Kdy se z fólie uvolňuje ftalát, tedy změkčovadlo a fólie mění hlavně mechanické vlastnosti. Dalším degradačním pochodem je odštěpování chloru a nahrazením O-H skupinou ze vzdušné vlhkosti, nebo dvojnou vazbou. I tyto změny samozřejmě vedou ke změně mechanických vlastností. Tato degradace je ovlivněna množstvím a druhem stabilizátorů ve fólii obsažených. Barva byla překvapivě ovlivněna jenom málo. Nicméně i změna barevnosti je určitým signálem, že se ve fólii něco děje.

## 4.6. Analýza vzorků 45 a 62 firmou Nicolet s.r.o.

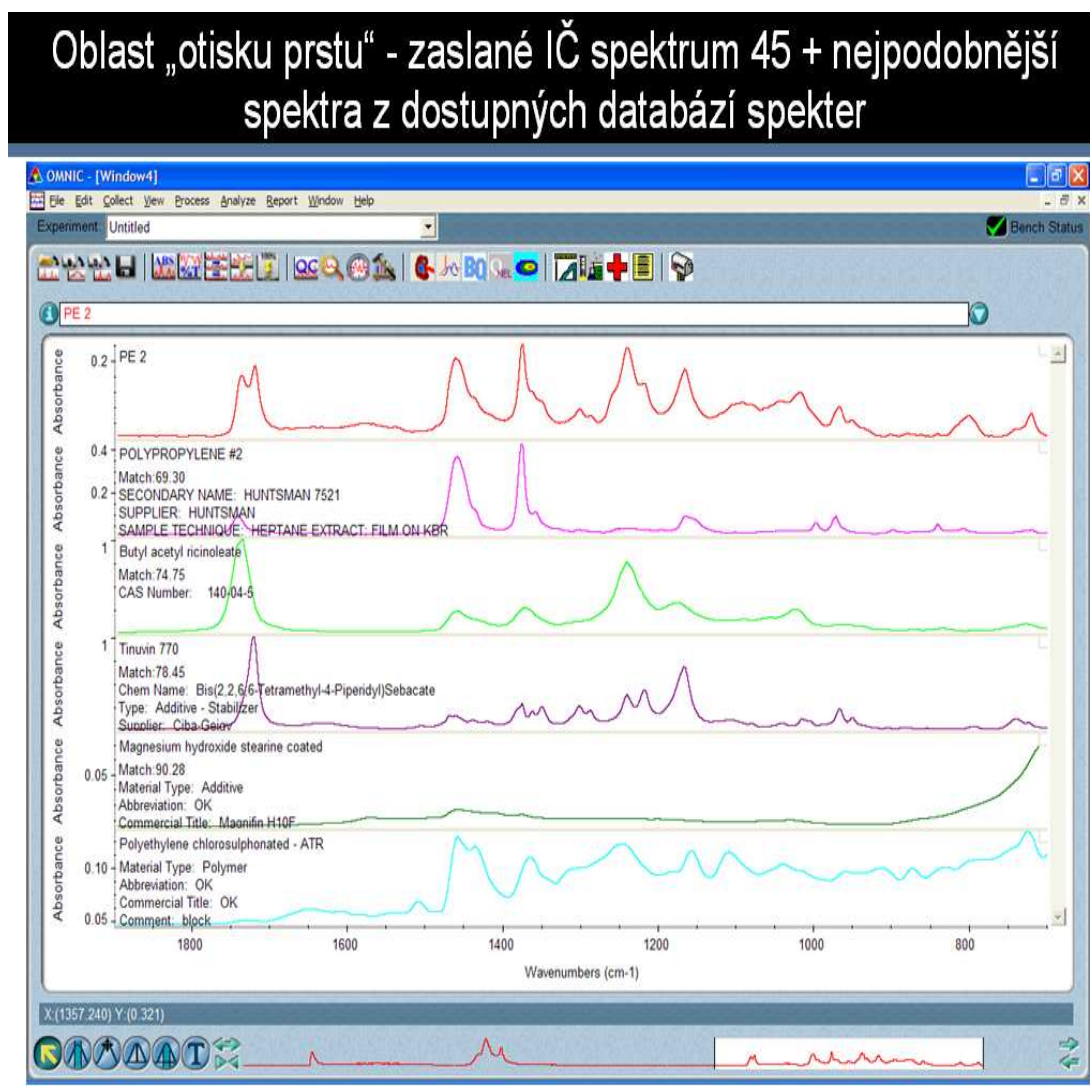
U vzorku číslo 45 a 62 jsme si nebyli jistí složením, které je možné zjistit pomocí nám dostupné databáze spekter polymerů. S analýzou těchto vzorků nám pomohla firma Nicolet s.r.o., kde jsou dostupné velmi obsáhlé databáze různých spekter. Námi zasláná spektra byla rozložena na jednotlivé složky, ze kterých podle databází je spektrum složeno. Zde na obr. č. 23 je příklad rozkladu spektra fólie číslo 45.

Obr. č. 23



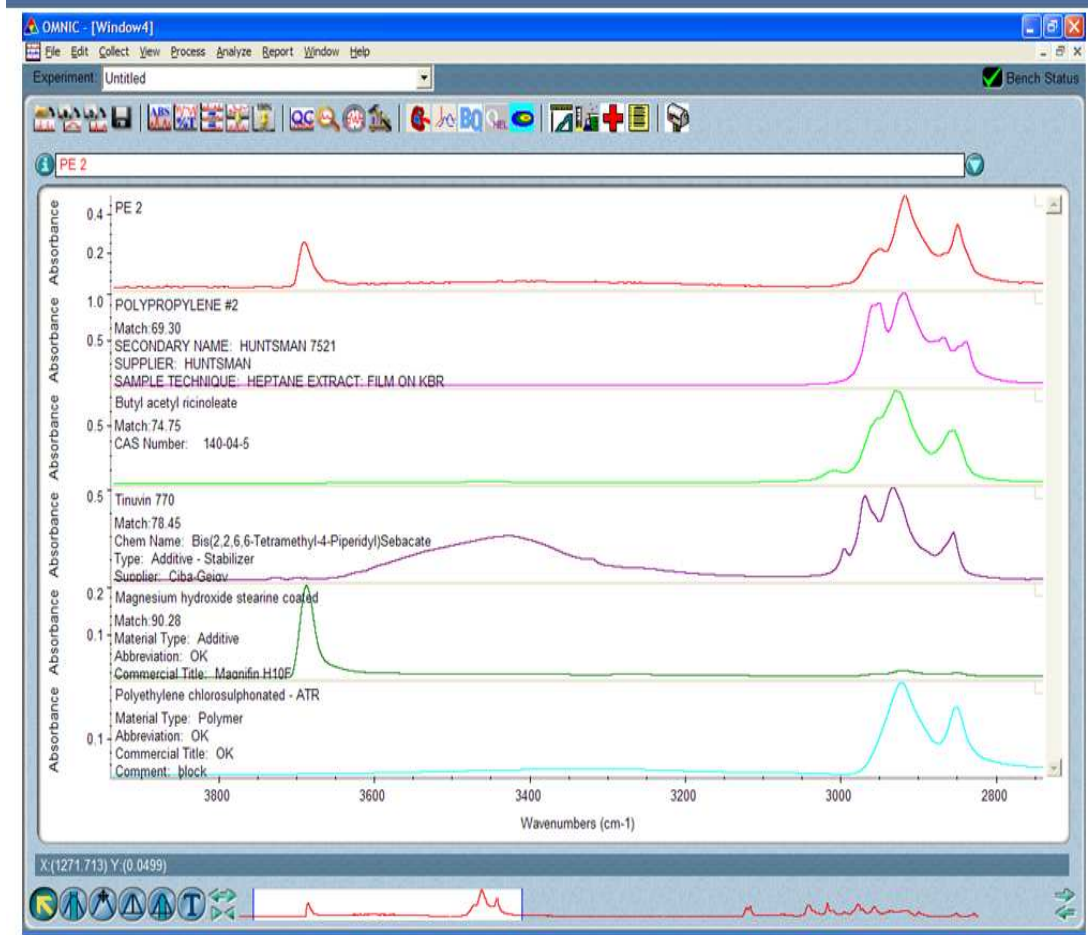
Na prvním obrázku číslo č. 23 jsou spektra v celém rozsahu a jednotlivé složky nalezené podle knihoven. Na dalších obrázcích jsou spektra rozdělena pro větší přehlednost na oblast otisku prstu a oblast charakteristických vibrací.

Obr. č. 24





## Oblast „funkčních skupin“ - zaslané IČ spektrum 45 + nejpodobnější spektra z dostupných databází spekter



13

**ThermoFisher**  
SCIENTIFIC

IČ spektrum s označením 45 (PE2) je podobné spektru složenému z IČ spekter následujících látek: polypropylen, chlorosulfonovaný polyethylen, butyl acetyl ricinoleate ( $C_{24}H_{44}O_4$ ), tinuvin 770 (stabilizátor) a magnesium hydroxide stearine coated. Uvedené látky jsou běžně používaná aditiva, resp. plniva polymerů.

Vzorek číslo 62 má označení jako Hypalon. Z databází firmy Nicolet jsme obdrželi tyto informace:

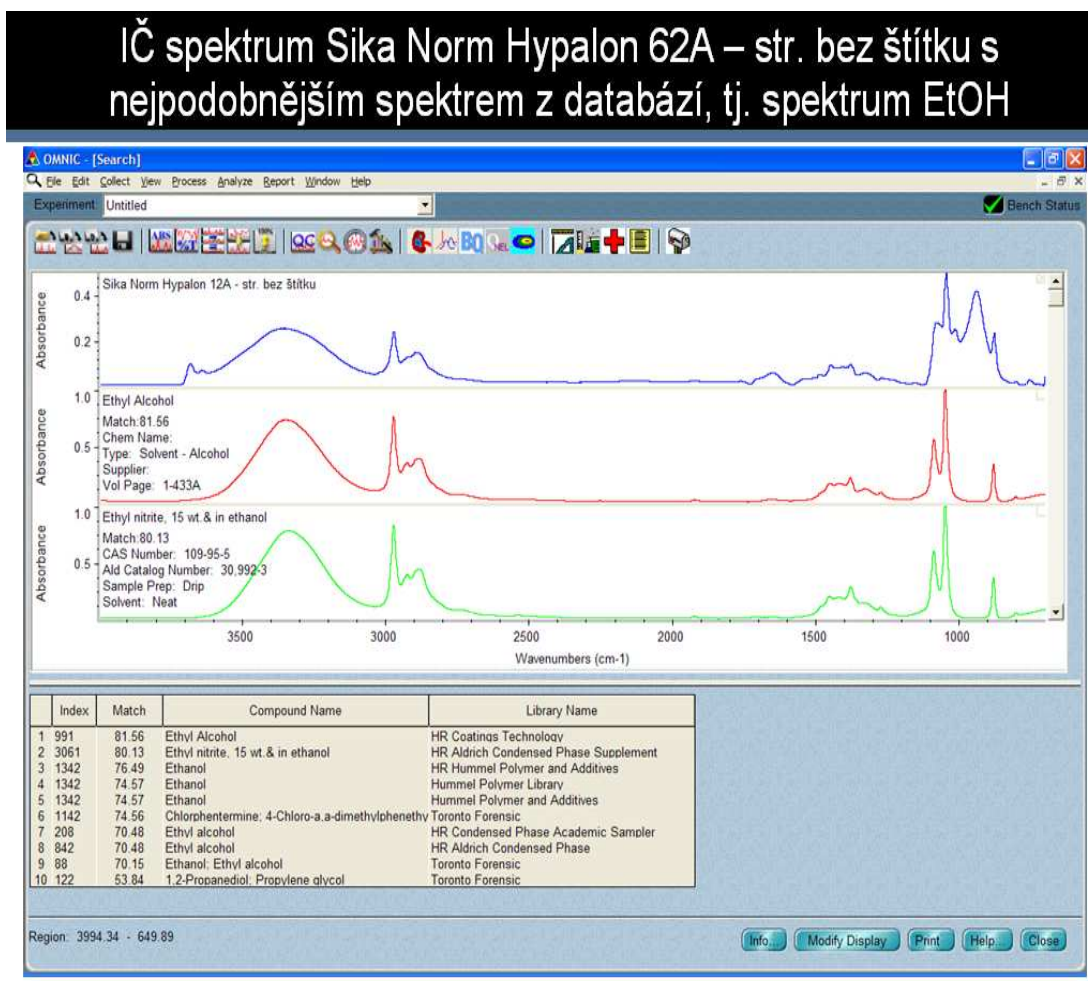
Hypalon je ochranná známka pro chlorosulfonát polyethylen (CSPE) syntetického kaučuku (CSM) společnosti DuPont Elastomers Performance. Materiál Hypalon odolává vysokým teplotám a oxidačním činidlům, povětrnostním vlivům, UV/ozónu, praskání a oděru, teple a chemikáliím. Snadno probíhá jeho pigmentace, je

stálobarevný a má nízkou nasákavost. Díky svým vlastnostem se využívá pro výrobu střešních systémů, automobilových a průmyslových hadic, rozvodových řemenů, kabelů a izolací elektrických vodičů. Z důvodu prokázané vysoké životnosti v drsném prostředí je také využíván na výrobu nafukovacích lodí, kajaků a na vodovodní a kanalizační potrubí.

Zaslaná spektra s označením Sika Norm Hypalon 62A, by dle názvu měla odpovídat látce chlorsulfonát polyethylenu, výrobce - společnost Sika.

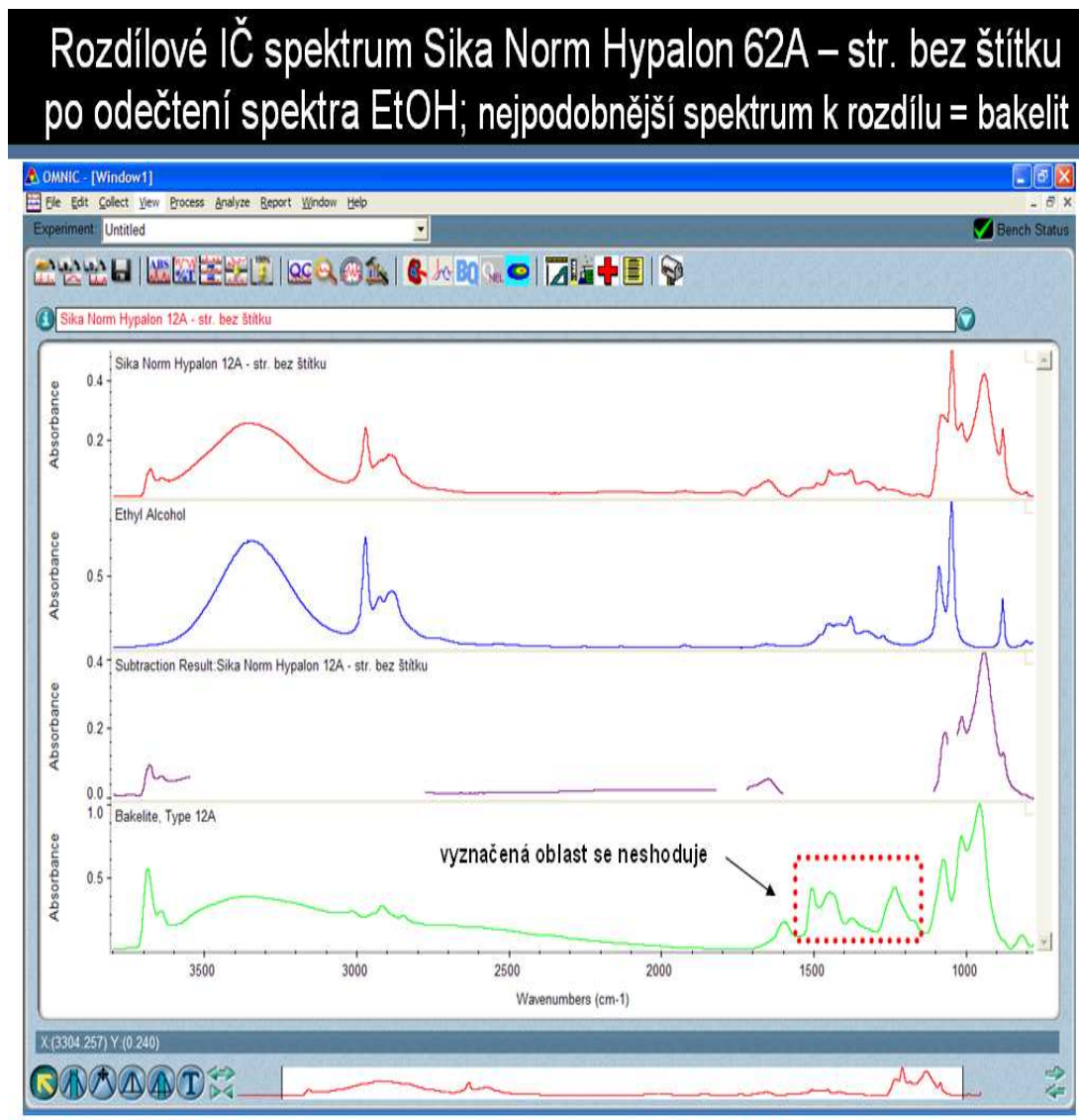
Na obrázku číslo 30 jsou spektra chlorsulfonátu PE z dostupných databází. S těmito spektry se pracovalo při rozkladu spekter vzorku číslo 62, strany se štítkem. Na straně bez štítku (viz obrázek číslo 26) byla nanесena vrstva materiálu, který trochu připomínal papír. Zde se tedy přítomnost polyethylenu nepředpokládala.

Obr. č. 26

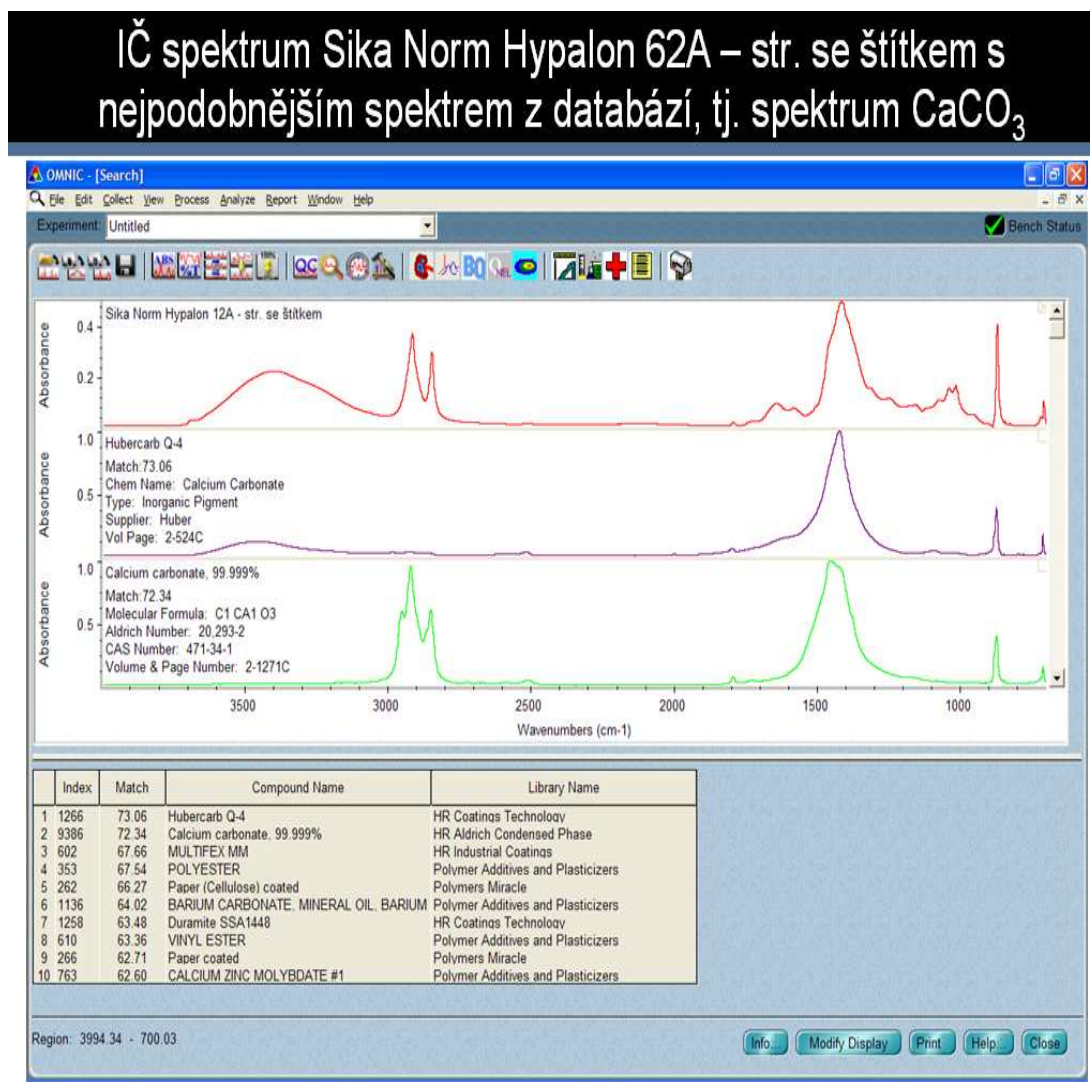


Dále následující obrázky spekter pro lepší přehlednost rozdělená na oblast otisku palce a oblast charakteristických vibrací (viz obr. číslo 27).

Obr. č. 27

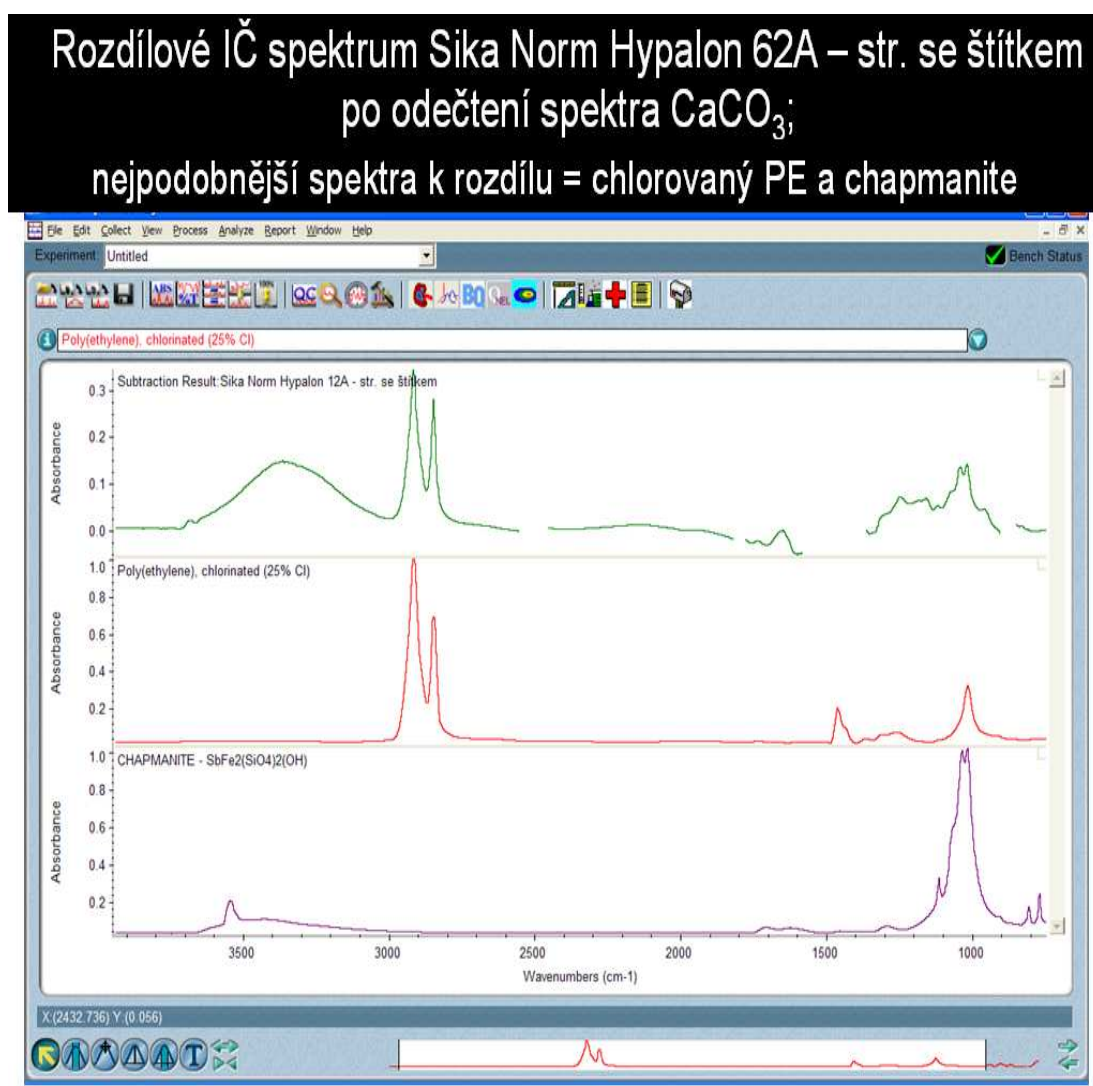


Dále následuje rozbor spektra vzorku 62, strany se štítkem, zde podle údajů výrobce by měl být základem chlorosulfonovaný polyethylen. Každá fólie obsahuje anorganická plniva. Zde jako dominantní složka je podle spektra uhličitán vápenatý. Na následujícím obrázku číslo 28 jsou spektra vzorku a dvě spektra uhličitanu vápenatého (liší se modifikací).



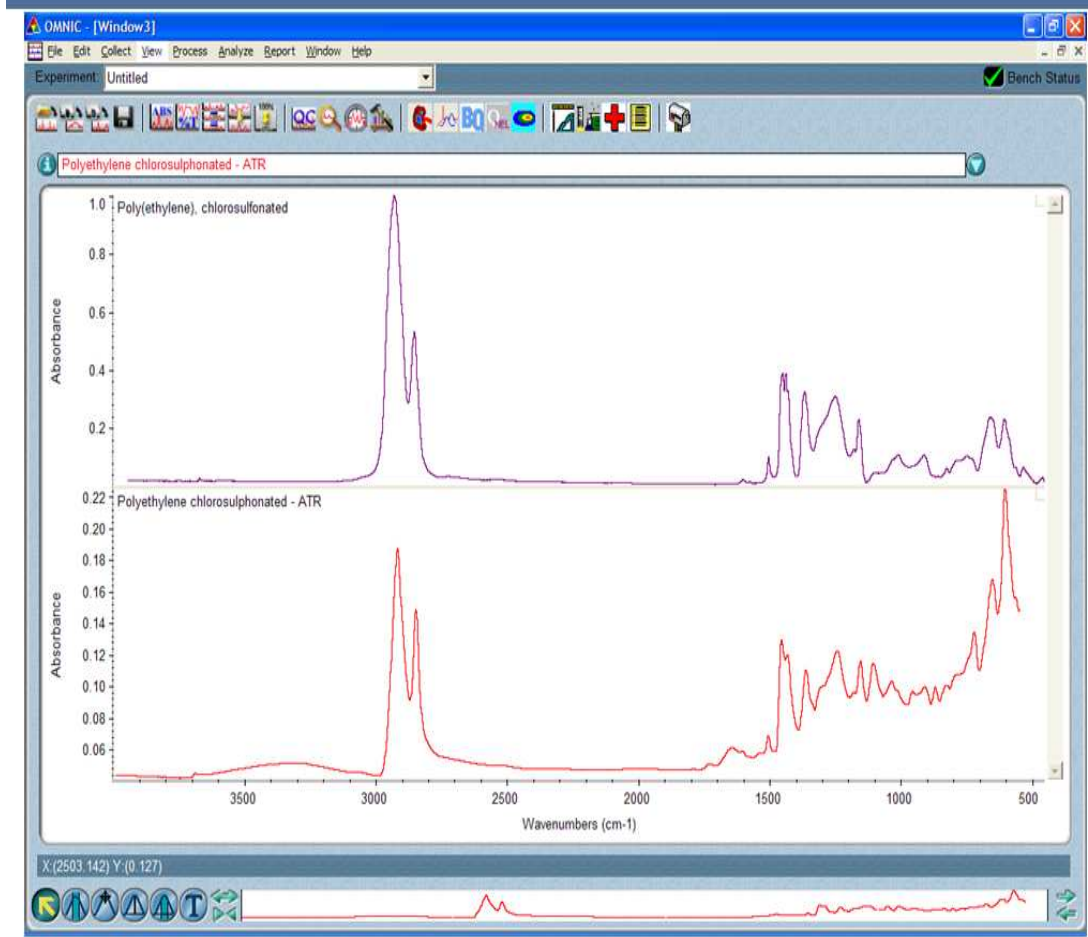
Dalším krokem po odečtení spektra uhličitanu vápenatého bylo nalezení nejvíce podobného polymeru a dalších látek ve vzorku obsažených. Jako nejpodobnější se jeví chlorovaný polyethylen a další látkou obsaženou v anorganických plnivech je chapmanit (viz obr. 29).



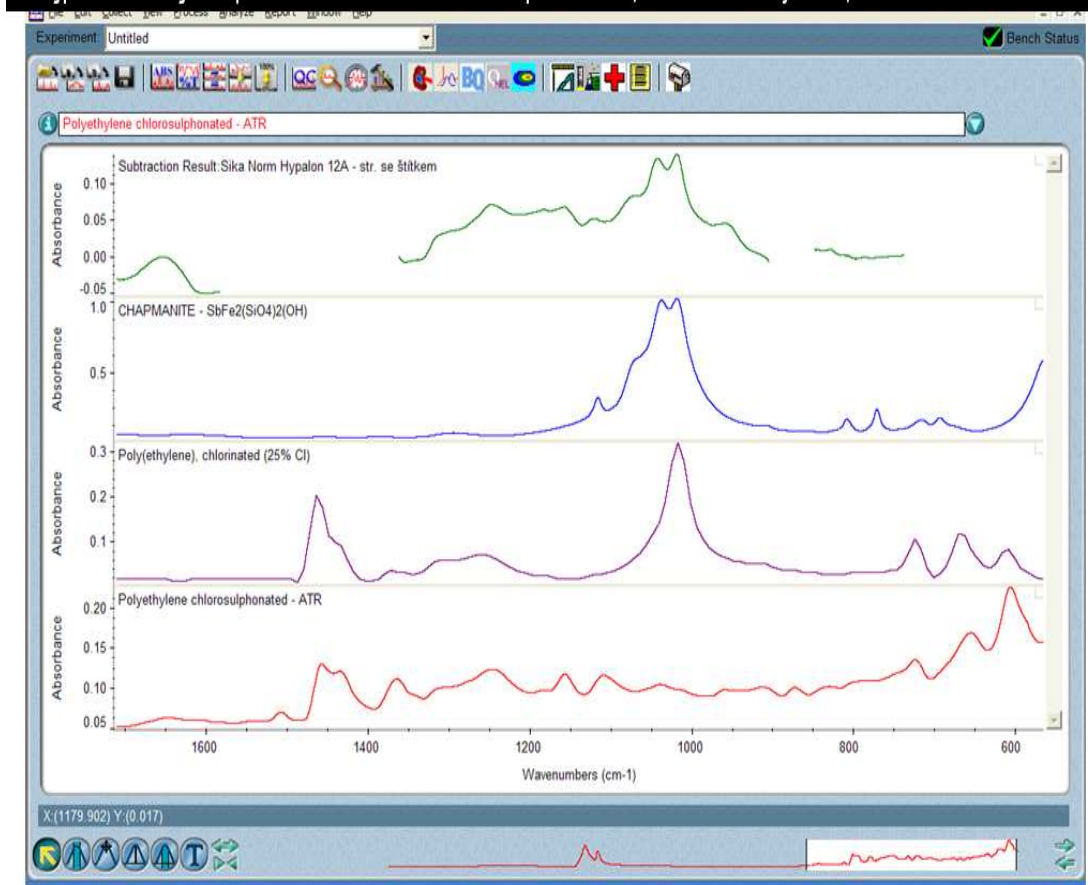


Protože podle výrobce by měl být základem chlorosulfonovaný polyethylen, tak byl vzat do úvahy na dalších obrázcích, které jsou již rozděleny na oblast otisku prstu a oblast charakteristických vibrací. Zde jsou nejprve spektra chlorosulfonátu polyethyleny dostupná v databázích (viz obr. číslo 30).

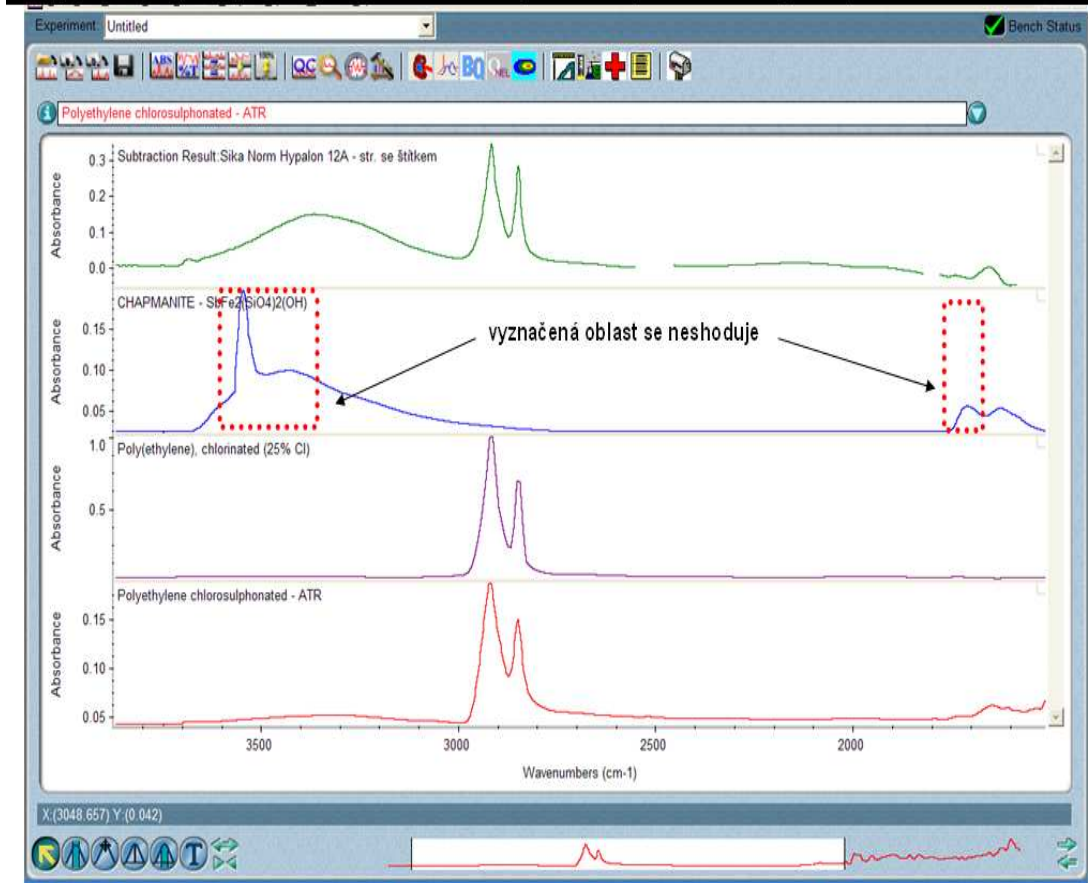
## Dvě IČ spektra chlórsulfonátu PE z dostupných databází



Oblast „otisku prstu“ - rozdílové IČ spektrum Sika Norm Hypalon 62A  
 – str. se štítkem po odečtení spektra  $\text{CaCO}_3$   
 nejpodobnější spektra k rozdílu = chapmanite, chlorovaný PE, chlorsulfonát PE



Oblast „funkčních skupin“ - rozdílové IČ spektrum Sika Norm Hypalon 62A – str. se štítkem po odečtení spektra  $\text{CaCO}_3$ , nejpodobnější spektra k rozdílu = chapmanite, chlorovaný PE, chlorsulfonát PE



Závěrem tedy lze říct, že spektrum Sika Hypalon Norm 12A – str. bez štítku je nejvíce podobné spektru ethanolu. Rozdílové spektrum těchto 2 látek je nejvíce shodné se spektrem bakelitu (bakelit je fenolformaldehydový polykondenzát - pryskyřice). Na obrázku číslo 27 je červeně označena oblast IČ spektra, která není shodná. Zde tedy není plná shoda s knihovnou. Protože přítomnost ethanolu ve vzorku je dost nepravděpodobná a ani použití bakelitu není pravděpodobné, není složení této strany známo.

Spektrum Sika Hypalon Norm 62A – str. se štítkem je nejshodnější se spektrem  $\text{CaCO}_3$ . Rozdílové spektrum těchto 2 látek je nejvíce shodné se spektry chapmanite,



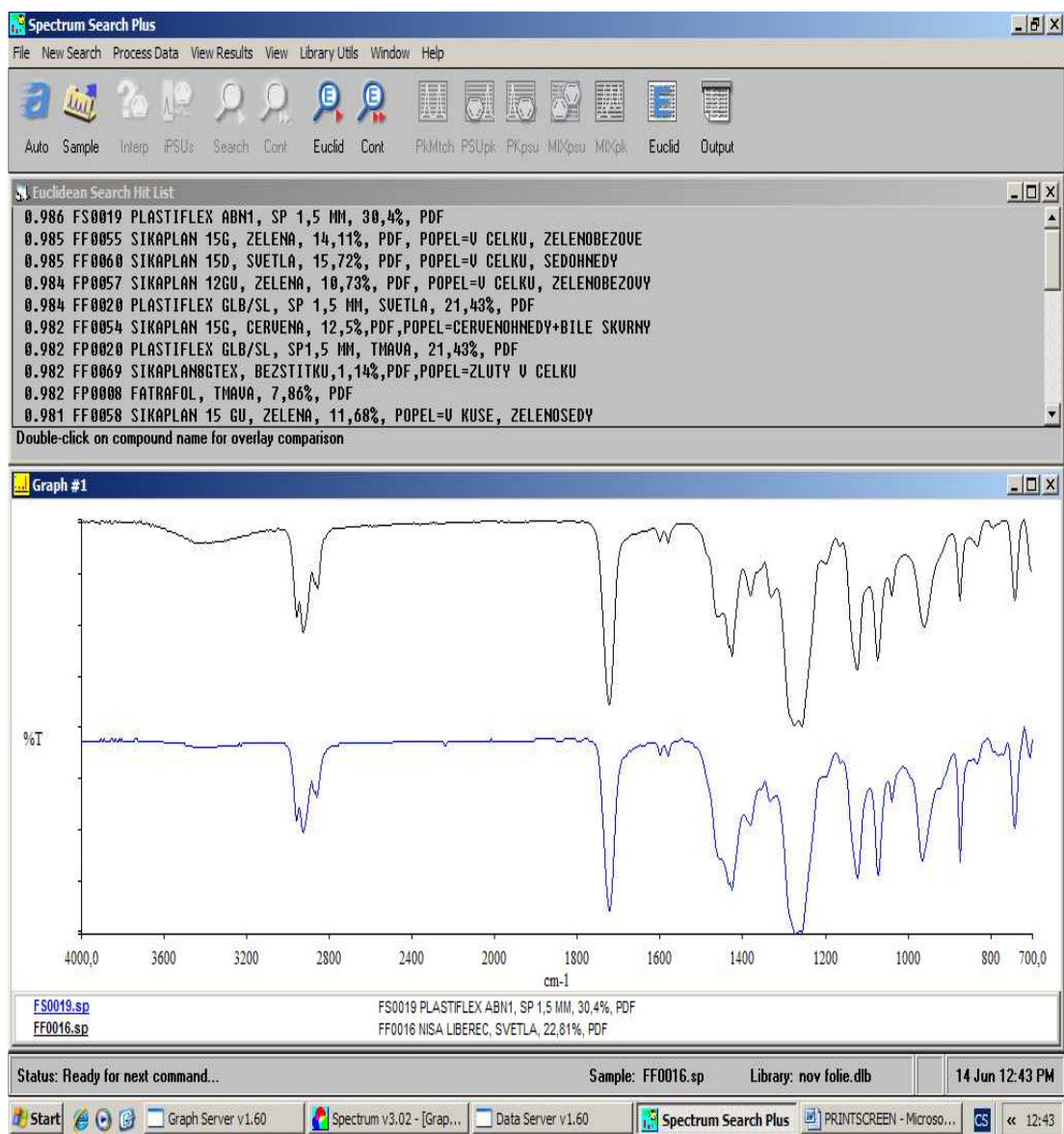
chlorosulfonovaného polyethylenu a chlorovaného PE. Na obrázku číslo 32 je červeně označena oblast IČ spektra, která vykazuje rozdíly. Ani zde tedy není shoda s knihovny úplná a vzorek pravděpodobně obsahuje ještě další složku, kterou neznáme.

## 4.7. Knihovna IČ spekter

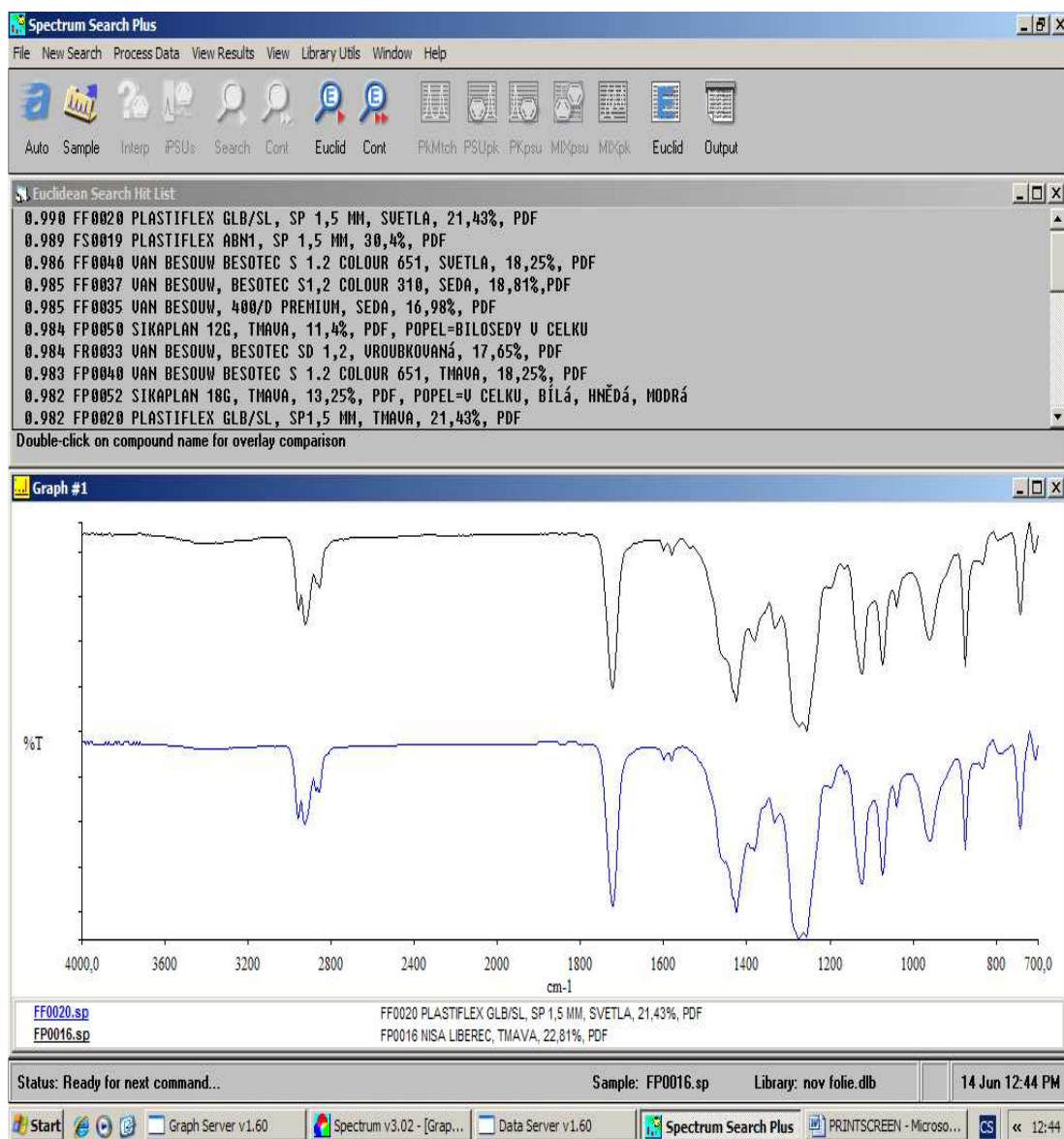
Knihovny spekter fólií byly vytvořeny dvě. Jedna obsahuje pouze nové nepoužité fólie, ale bohužel se nám nepodařilo pokrýt všechny výrobce, kteří v současné době, popřípadě nedávné minulosti na našem trhu působili. Druhá knihovna obsahuje spektra všech fólií, které se nám podařilo sehnat, tedy i použité, případně různě poškozené fólie, u kterých zase ne vždy známe výrobce, ale víme alespoň odkud pocházejí. Pokud tedy chceme zjistit pouze výrobce fólie, nebo predikovat vlastnosti fólie je vhodné použít knihovnu nových fólií, která nabídne fólii s největší spektrální shodou. Jestliže knihovna neobsahuje výrobce aktuální fólie, ale je vysoká shoda se spektrem fólie od jiného, je pravděpodobné, že se daná fólie bude chovat podobně jako fólie shodného složení, ale jiného původu. Jestliže je žádoucí zjistit i stáří fólie a zjistit, zda se tento druh izolace choval podobně i v dalších případech je vhodné použít knihovnu, která obsahuje fólie všechny.

Na obrázcích číslo 33 a 34 je příklad přiřazení původu použité fólii (vzorek číslo 16). Spektrum fólie bylo změřeno z obou stran a porovnáno s knihovnou vytvořenou pomocí nových fólií, u kterých byl znám výrobce a kde bylo stanoveno množství anorganických látek gravimetricky spálením při 650 °C. V případě jedné strany knihovna nabídla jako spektrum s nejvyšší shodou vzorek číslo 19, tedy fólii od firmy Plastiflex s obsahem anorganických látek 30,4 %. Na dalších místech byly fólie od firmy Sikaplan, které se neshodují ani obsahem plniv, ani vzhledem. Při porovnání spektra druhé strany vzorku knihovna nabídla jako nejshodnější spektrum vzorek číslo 20, který má i téměř shodné procentuální množství anorganických látek. Na druhém místě je opět spektrum vzorku číslo 19. Vzhledem k tomu, že spektrum vzorku číslo 20 je nabídnuto v jednom případě na prvním místě a v druhém na pátém (se shodou jen o několik desetin procenta menší) a i shoda v množství anorganických látek je dobrá, je pravděpodobné, že se jedná o fólii od firmy Plastiflex.

Obr. č. 33 – Přiřazení původu použité fólie č. 16 (světlá strana)



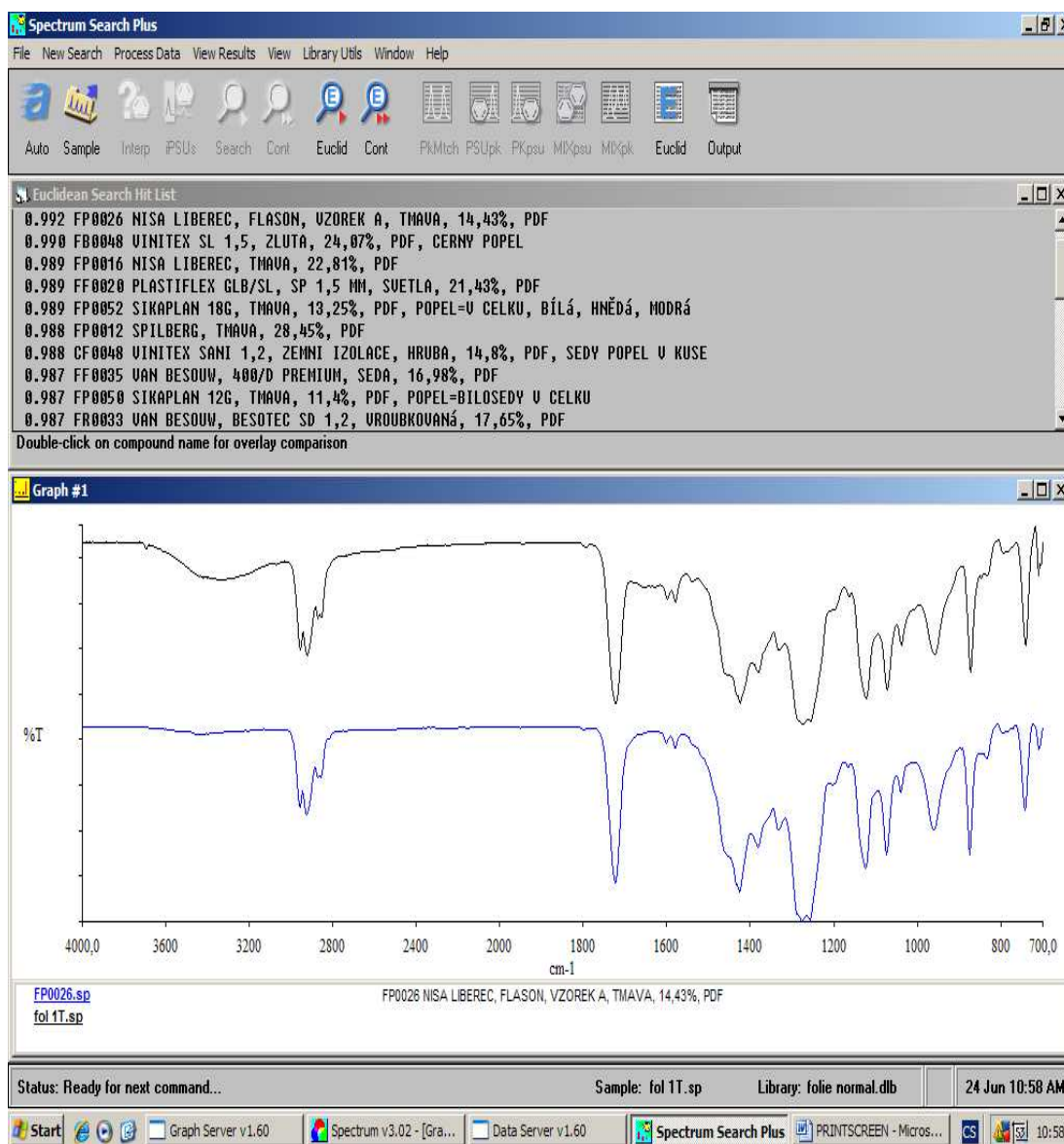
Obr. č. 34 – Přiřazení původů použité fólie č. 16 (tmavá strana)



Jako další vzorek byla použita fólie od neznámého výrobce, kterou jsme srovnávali s knihovnou obsahující fólie jak nové, tak i použité. V případě použitých folií není vždy znám výrobce, ale je známo odkud (ze které stavby) pochází, tedy jak je fólie stará a jestli vykazovala poruchy. Podle těchto údajů už lze dohledat výrobce i srovnat, jestli zkoumaná fólie vykazuje stejné poškození. V těchto případech je vhodné srovnávat s knihovnou spodní, tedy neexponovanou stranu fólie, protože zde je

předpoklad, že degradace bude závislá především na stáří fólie. V našem případě jsme našli největší shodu s folií z nákupního střediska Nisa Liberec od firmy Flagon. Po identifikaci bylo potvrzeno, že údaje z databáze jsou shodné s údaji, které poskytla firma zabývající se problematikou poškození izolačních folií ve stavebnictví viz obr. číslo 35.

Obr. č. 35 – Přiřazení původu neznámého vzorku s označením fol. 1T



## 4.8. Vyjádření barevné odchylky mezi dvěma vzorky

Z praktického hlediska je velice důležité umět pospat barevnou odchylku matematicky z barevného prostoru, který se skoro blíží idealizaci. Právě z prostoru CIE  $L^*a^*b^*$  1976 se barevná odchylka spočítala podle vzorce  $\Delta E = \sqrt{[(L^*_{\text{standard}} - L^*_{\text{vzorek}})^2 + (a^*_{\text{standard}} - a^*_{\text{vzorek}})^2 + (b^*_{\text{standard}} - b^*_{\text{vzorek}})^2]}$ . Tímto vzorcem lze určit nejkratší vzdálenost mezi souřadnicemi standardu a vzorku v uvedeném barevném prostoru. Konkrétní hodnota odchylky vymezuje v tomto prostoru toleranční kouli. Uvnitř této koule jsou všechny vzorky s přijatelnou odchylkou od standardu a vně všechny vzorky nepřijatelné. [11, 12]

Hodnoty barevné odchylky použitých vzorků spolu s naměřenými hodnotami barevných prostorů před zahřátím (před Z) a po zahřátí (po Z) se nacházejí v tabulce č. 6. Barevné odchylky vzorků, které mají vysoké hodnoty a tudíž je zřejmé, že došlo k výrazným změnám v barevných prostorech  $L^*a^*$  nebo  $b^*$ , jsou zvýrazněny tučně.

Tabulka č. 6 – Naměřené hodnoty barevných prostorů před a po zahřátí spolu s vypočítanými barevnými odchylkami

Vzorek	$L^*$ (před Z)	$a^*$ (před Z)	$b^*$ (před Z)	$L^*$ (po Z)	$a^*$ (po Z)	$b^*$ (po Z)	$\Delta E$
1 tmavá	60,941	-0,491	-5,092	60,352	-0,157	-5,135	0,678473
1 světlá	69,593	-0,762	-2,031	75,636	-0,319	-1,466	6,085501
8 tmavá	49,885	-0,31	-6,456	70,549	-0,098	-1,796	21,18399
8 světlá	69,363	-0,933	-4,431	68,123	-0,718	-3,915	1,360177
17 lesklá	38,975	0,441	-2,247	83,567	-2,466	20,637	50,20532
17 matná	38,891	0,413	-2,294	80,221	-2,988	31,493	<b>53,49109</b>
18 (SP 2,0) černá	27,699	0,092	-1,182	27,146	0,133	-0,953	0,599942
18 (SP 2,0) bílá	84,955	-0,252	0,263	82,062	-0,768	4,869	5,463601
19 černá	27,595	0,2	-1,518	64,621	-0,009	-0,217	<b>37,04944</b>
20 zelená	42,706	-6,776	6,6	42,618	-7,353	5,907	0,906047
20 bílá	92,214	-2,669	-0,815	89,712	-1,788	2,586	4,313116
21 hrubá	30,757	0,038	-1,386	84,779	-0,104	-0,57	<b>54,02835</b>
21 jemná	32,349	-0,034	-1,971	94,779	-0,104	-0,57	<b>62,44576</b>
24	94,215	0,254	-0,738	90,175	-0,094	0,764	4,3242
29	94,658	0,213	-1,021	92,529	-0,064	0,157	2,448888
30 mříž. bílá	80,231	-0,752	2,635	84,38	-0,534	1,572	4,288554
30 jemná bílá	80,158	-0,605	2,565	90,234	-0,18	0,801	10,23807
31 mříž.	54,978	-0,658	-2,106	72,052	-0,224	-0,428	17,16175
31 jemná	55,789	-0,636	-1,966	33,953	0,235	-1,827	21,85381
32 mříž.	80,557	-0,643	2,063	78,47	-0,913	2,497	2,14868
32 jemná	80,217	-0,626	2,563	71,699	-0,775	2,323	8,522683
33 vroubkovaná	60,6	-0,552	-5,177	59,729	-0,329	-4,596	1,070482
33 jemná	60,605	-0,597	-5,209	59,315	-0,36	-4,31	1,590116
34 stříbrná	76,003	-0,378	-3,291	72,452	-0,544	-2,61	3,619519
34 šedá	62,188	-0,489	-5,058	62,369	-0,583	-4,344	0,742558
35 světlá	61,993	-0,541	-5,237	72,452	-0,544	-2,61	10,78387
35 modrá	35,38	11,363	-45,513	62,369	-0,583	-4,344	50,6557
37 zelená	54,614	-28,42	-15,115	45,956	-0,395	-4,777	<b>31,10042</b>
37 šedá	60,961	-0,379	-5,35	34,536	10,798	-43,963	<b>48,10582</b>
39 jemná	60,65	-0,483	-5,135	51,091	-26,634	-13,789	29,15718
39 hrubá	60,678	-0,508	-5,213	58,977	-0,76	-4,658	1,806912

40 černá	39,578	0,41	-4,029	59,365	-0,783	-5,316	19,86467
40 šedá	61,305	-0,362	-5,472	59,701	-0,866	-5,174	1,707523
41 černá	39,668	0,444	-4,038	33,034	0,226	-3,197	6,690647
41 šedá	62,327	-0,413	-4,634	57,885	-0,667	-5,227	4,4886
42 jemná	61,167	-0,601	-5,24	32,284	0,047	-1,982	<b>29,07339</b>
42 hrubá	61,265	-0,593	-5,312	62,065	-0,842	-4,372	1,259206
43 vzorkovaná	37,289	0,123	-4,013	56,668	-0,777	-4,479	19,40548
43 jemná	30,007	0,003	-2,509	56,967	-0,66	-4,622	27,0508
47	84,66	-0,425	-1,129	40,345	0,029	-3,981	44,409
48 (MP 1,5) bílá	83,075	-0,436	-1,422	29,208	0,019	-2,433	<b>53,87841</b>
48 (MP 1,5) šedá	44,553	-0,214	-2,586	84,009	-0,887	-1,148	<b>39,48793</b>
48 (SL 1,5) žlutá	86,564	-3,175	33,03	74,643	-0,535	-0,469	<b>35,65477</b>
48 (SL 1,5) černá	25,984	0,03	-1,897	37,261	-0,192	-1,85	11,27928
48 (SANI 1,2) hrubá	31,124	0,059	-3,417	77,29	-2,516	30,087	<b>57,10033</b>
48 (SANI 1,2) jemná	31,327	0,006	-3,312	25,642	-0,079	-1,751	5,89603
50 světlá	80,323	-0,397	-0,59	26,499	0,104	-3,068	<b>53,88334</b>
50 šedá	42,339	-0,038	-2,019	27,251	0,22	-3,22	15,13792
51 šedá	43,155	-0,479	-1,832	59,946	0,847	2,071	17,28957
51 světlá	81,846	-0,438	-0,959	32,372	0,296	-1,681	<b>49,48471</b>
52 světlá	81,456	-0,484	-1,101	42,879	-0,404	-0,91	<b>38,57756</b>
52 šedá	43,622	-0,492	-2,073	80,112	0,234	2,548	<b>36,7886</b>
53 světlá	82,296	-0,431	-1,164	78,807	-0,233	2,59	5,128825
53 šedá	42,862	-0,287	-1,876	43,275	-0,337	-1,163	0,825493
54 červená	49,853	26,307	20,962	80,756	0,093	3,103	<b>44,28446</b>
54 šedá	45,347	-0,338	-2,146	42,402	-0,208	-1,098	3,128615
55 zelená	70,445	-17,649	13,647	49,761	26,556	21,572	<b>49,44406</b>
55 šedá	43,092	-0,302	-1,176	44,076	-0,286	-1,653	1,093637
57 zelená	87,11	-10,167	8,076	68,809	-16,273	13,983	20,17678
57 šedá	43,85	-0,31	-2,217	42,766	-0,153	-0,832	1,765766
58 zelená	74,976	-8,923	7,053	86,042	-9,276	10,518	11,60117
58 šedá	39,931	0,039	-1,48	43,364	-0,283	-1,761	3,459499
59 zelená	86,529	-10,459	8,575	83,922	-8,438	11,453	4,377645
59 šedá	43,371	-0,363	-2,246	43,692	0,264	-0,766	1,639076
60 světlá	82,151	-0,436	-1,269	84,735	-8,673	10,916	14,93317
60 šedá	42,937	-0,277	-2,215	42,441	-0,221	-1,343	1,004757
61	88,758	-0,487	-0,918	81,154	0,159	1,974	8,160992
62	88,795	-0,575	-0,519	34,677	0,002	-1,67	<b>54,13331</b>
63	88,978	-0,542	-0,886	88,138	-0,562	-0,287	1,031892
65 žlutá	80,898	-0,853	54,878	88,234	-0,677	0,852	<b>54,52207</b>
66 žlutá (štítek)	82,378	2,106	59,126	86,176	-0,643	0,473	<b>58,84009</b>
66 žlutá (bez štítku)	82,39	2,096	58,925	58,094	1,172	36,997	<b>32,74121</b>
67 žlutá (štítek)	86,723	-1,122	24,526	56,748	3,024	37,935	<b>33,09821</b>
67 žlutá (bez štítku)	86,515	-1,048	23,903	75,494	2,341	54,426	<b>32,62823</b>
69 žlutá	87,993	0,037	59,544	84,369	-0,366	27,711	<b>32,04116</b>
70 světlá	62,673	-0,583	-3,006	58,847	-0,508	-2,688	3,839925
70 tmavá	52,303	-0,745	-5,339	41,358	-0,473	-4,338	10,99404
71 světla	62,003	-0,261	-2,662	61,747	-0,257	-2,56	0,275601
71 tmavá	52,214	-0,661	-4,663	52,259	-0,609	-4,482	0,193623
72 černá	26,799	0,012	-2,058	24,259	0,199	-2,533	2,59079
58 (xenotest)	85,642	-9,518	8,28	86,103	-10,41	8,331	1,005379
68 (xenotest)	85,643	1,621	55,55	87,421	-0,495	54,965	2,82506

## 5. Závěr a diskuze

V práci byl učiněn pokus o nalezení systému, podle kterého by bylo možné vytvořit databázi hydroizolačních fólií, resp. jejich spekter, souřadnic barevnosti, obsahu plniv apod., podle kterých by bylo možné určit původ neznámého vzorku, nebo odhadnout důvody, které vedly k selhání izolačních vlastností. Podle této databáze by bylo možné i predikovat vlastnosti a chování fólie nové, za předpokladu, že by její složení bylo totožné se složením jiné fólie, u které je její chování v horizontu několika let známo.

Tato problematika je velice široká, protože na trhu a stavbách je v současné době používáno velké množství různých druhů fólií, které se liší i diametrálně svým složením, nebo alespoň přídatnými látkami jako jsou změkčovadla, stabilizátory a plniva a pod. I tyto látky, třebaže jsou někdy přítomny jen ve velmi malém množství a není jednoduché je ve vzorku identifikovat, na IR je často nerozpoznáme vůbec, ovlivňují velmi podstatně vlastnosti fólie. Navíc složení folií se neustále vyvíjí a mění, ať už to je z důvodů vylepšení vlastností, nebo snížení výrobní ceny. Z tohoto důvodu není ani záruka, že fólie vyrobená pod stejným označením, ale v různé době bude vždy stejná. Při výrobě fólií se také mohou používat různé recykláty a látky, které by jinak byly odpadem. Z těchto důvodů by byla kompletní kvantitativní a kvalitativní analýza velmi složitá a časově i finančně nákladná. V praxi je takováto analýza nerealizovatelná.

Tato diplomová práce je tedy pokusem o nalezení cesty k nějaké relativně jednoduché a pokud možno rychlé a ne příliš finančně nákladné metodě, která by mohla tyto fólie analyzovat a odhalit proč došlo k selhání izolačních vlastností, popř. predikovat chování nové fólie na základě informací z databáze.

Nejpoužívanějším materiálem pro výrobu izolačních fólií je měkčené PVC, proto i většina vzorků, které jsme měli k dispozici je z tohoto materiálu. Dále se používají různé druhy a modifikace polyethylenu, polypropylenu, syntetický kaučuk a ve speciálních aplikacích ethylvinylacetát. Fólie z materiálů méně používaných jsme měli pouze v několika málo exemplářích, a protože zde existuje jen několik málo výrobců těchto speciálních folií, není ani tak složité fólie identifikovat.

Velkým problémem jsou fólie z PVC, kterých je veliké množství a liší se často jenom nepatrně jak v IČ spektru, tak i v obsahu plniv a dalších jednoduše získatelných údajích. Nicméně i v těchto případech jsme rozdíly našli a je pravděpodobné, že cestou, která je navržena v této práci je možné takovouto databázi vytvořit. Je ale nutné co nejlépe pokrýt současný stav na trhu i realizovaných stavbách. Také je nutno neustále databázi doplňovat o nové výrobky i poznatky o jejich chování při zátěži způsobené pokládkou i klimatickými podmínkami posléze.



## 6. Seznam použité literatury

- [1] Ducháček, V.: *Polymery-výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, VŠCHT Praha 1995, 95-166-34/95
- [2] Šuta, M.: *Chemické látky v životním prostředí a zdraví*, Ekologický institut Veronica, Brno 2008, ISBN 978-80-87308-00-4
- [3] Krejčí, O. (2006): *PE/EVA nanokompozity – příprava, vlastnosti a použití*, (Diplomová práce), Zlín, Fakulta technologická, Ústav inženýrských polymerů, 23-25 s.
- [4] Kučera, M.: *Vznik makromolekul I*, Vutium, Brno 2003
- [5] Štěpek, J. a kolektiv: *Polymery v obalové technice*, SNTL, Praha 1981
- [6] Mleziva, J., Šňupárek, J.: *Polymery: Výroba, , struktura, vlastnosti a použití*, Sobotáles, Praha 2000
- [7] Stoklasa, K.: *Makromolekulární chemie II* (skripta)
- [8] Kalous V. a kol.: *Metody chemického výzkumu*, SNTL/Alfa, Praha 1987
- [9] Čáhr M., Krupčík J., Mocák J., Polonský J., Síleš B.: *Praktikum z analytické chemie*, Alfa, Bratislava 1989
- [10] Trchová, M.: *Metodická příručka pro uživatele FTIR spektrometru*, Katedra makromolekulární fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK
- [11] MacAdam, D.,L.: *Color Measurement, Theme and Variations*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1981
- [12] Vik, M.: *Základy měření barevnosti I díl. Učební texty*, Technická univerzita, Liberec 1995

### Internetové zdroje

- [13] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Polypropylen>
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl\\_acetate](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl_acetate)
- [15] <http://www.fatrafol.cz>
- [16] [http://www.vedag.de/fileadmin/fm-cz/Ke\\_stazeni/Technicke\\_informace](http://www.vedag.de/fileadmin/fm-cz/Ke_stazeni/Technicke_informace)
- [17] <http://www.stavofol.cz/pouziti-folii-a-cenik-stresni-folie-mpvc.html>